



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 091599

**ANALISA ARC FLASH PADA SISTEM KELISTRIKAN DI
PT. ISPAT INDO SIDOARJO - JAWA TIMUR**

Joko Suparyo
NRP 2212 106 093

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.
Ir. Arif Musthofa, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 091599

**ARC FLASH ANALYSIS ON ELECTRICAL SYSTEM AT
PT. ISPAT INDO, SIDOARJO - EAST JAVA**

Joko Suparyo
NRP 2212 106 093

Advisor Lecturer
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Arif Musthofa, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**ANALISA ARC FLASH PADA SISTEM
KELISTRIKAN DI PT. ISPAT INDO
SIDOARJO - JAWATIMUR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II

Ir. Arif Musthofa, MT.
NIP. 196608111992031004



ANALISA *ARC FLASH* PADA SISTEM KELISTRIKAN DI PT. ISPAT INDO SIDOARJO – JAWA TIMUR

Nama : Joko Suparyo
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing II : Ir. Arif Musthofa, MT.

ABSTRAK

Arc Flash merupakan total energi yang dilepaskan ketika terjadi gangguan hubung singkat. Energi akan dilepaskan melalui udara mengalir ke fasa lain, netral atau mengalir ke tanah. Ketika pekerja yang tidak dilengkapi alat pelindung diri berada di dekat dengan *Arc Flash*, maka akan menyebabkan cedera serius dan bahkan kematian. Berdasarkan standar IEEE 1584-2002 yang mengatur tentang analisa bahaya busur api pada sistem tegangan rendah dan menengah, pengguna dapat dengan mudah menentukan batas keamanan untuk para pekerja. Menurut rekomendasi standar IEEE perhitungan arus hubung singkat selalu memperhatikan kontribusi arus gangguan dari generator, motor induksi dan sinkron. Besar kecilnya energi *arc flash* dapat ditentukan dari beberapa sudut pandang. Diantaranya ialah nilai energi *arc flash* akan besar apabila dihitung dengan menggunakan arus *bolted three phase fault*, sedangkan dari sudut *arc clearing time* yang didapat dari waktu dimana arus gangguan saat itu terjadi akan menghasilkan nilai energi busur api yang lebih rendah. Untuk mengurangi atau menurunkan nilai dari *arc clearing time* ini banyak metode yang digunakan, diantaranya adalah melakukan *resetting* koordinasi proteksinya serta pemasangan relai *differential* seperti yang dilakukan dalam tugas akhir ini. Untuk hasil yang didapat pada tugas akhir ini adalah pada tipikal 1 nilai insiden energi tertinggi 463.17 cal/cm² turun menjadi 14.76 cal/cm², pada tipikal 2 nilai insiden energi tertinggi 68.95 cal/cm² turun menjadi 6.97 cal/cm², pada tipikal 3 nilai insiden energi nya mengalami peningkatan yaitu dari 5.339 cal/cm² menjadi 22.042 cal/cm² kenaikan ini disebabkan karena terjadi kesalahan koordinasi rele.

Kata Kunci—Arc Flash, Arc clearing time, Arus bolted three phase fault, koordinasi proteksi, standar IEEE 1584-2002.

ARC FLASH ANALYSIS ON ELECTRICAL SYSTEM
at PT. ISPAT INDO SIDOARJO –
JAWA TIMUR

Name : Joko Suparyo
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Advisor II : Ir. Arif Musthofa, MT.

ABSTRACT

Arc Flash is the total energy released when the short circuit . Energy is released through the air flowing into another phase , neutral or flows into the ground. When workers are not equipped with personal protective equipment be near the Arc Flash , it will cause serious injury and even death. Based on the IEEE 1584-2002 standard governing hazard analysis arcing at low and medium voltage systems , the user can easily determine the safety limit for workers. According to the recommendations of IEEE 1584-2002 standard short-circuit current calculation always looking at to the contribution of fault current from the generator , induction and synchronous motors. The size of the arc flash energy can be determined from the some of view point. Among them is the value of arc flash energy will be greater if calculated using three- phase bolted fault current , while from the corner arc clearing time obtained from the time where the fault current at the time it happens will generate arc energy value lower. To reduce or decrease the value of the arc clearing this time many of the methods used , like doing resetting the coordination of protection and installation of differential relays. The result obtained in this thesis is, in typical 1 the highest value of incident energy 463.17 cal/cm² fell to 14.76 cal/cm², in typical 2 the highest value of incident energy 68.95 cal/cm² fell to 6.97 cal/cm², in typical 3 the value of incident energy increased from 5.339 cal/cm² to 22.042 cal/cm², the increase is caused due to an error of relay coordination.

Key word - Arc Flash, Arc clearing time, Arus bolted three phase fault, coordination of protection, IEEE 1584-2002 standard.

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
 BAB 2 ARC FLASH DAN KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK	
2.1 Fenomena Busur Api Listrik	5
2.2 Perhitungan Energi <i>Arc Flash</i> Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002 [6]	6
2.3 Flash Protection Boundary	9
2.4 Kategori Energi Busur Api dan Perlengkapan Keselamatan Pekerja	11
2.5 Gangguan Sistem Tenaga Listrik	15
2.5.1 Gangguan Beban Lebih.....	16
2.5.2 Gangguan Hubung Singkat.....	16
2.5.3 Gangguan Tegangan Lebih.....	17
2.6 Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	17
2.6.1 Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah.....	17
2.6.2 Hubung Singkat Antar Fasa.....	17
2.6.3 Hubung Singkat Fasa ke Netral.....	18
2.6.4 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah.....	18

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN DI PT. ISPAT INDO, SIDOARJO JAWA TIMUR

3.1	Sistem Kelistrikan.....	19
3.2	Data Beban/Perakatan dan Transformator	20
3.2.1	Peralatan Peleburan Bahan Baku dan Pengecoran.....	21
3.2.2	Peralatan dan Mesin Pengerolan	22
3.2.3	Peralatan Finishing	22
3.2.4	Transformator.....	23

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1	Pemodelan Sistem Kelistrikan.....	27
4.2	Pemilihan Tipikal Koordinasi Setting Rele Pengaman Pada PT. Ispat Indo	27
4.3	Analisa Hubung Singkat	28
4.4	Analisa Tipikal 1	29
4.4.1	Analisa Koordinasi Proteksi Pada Tipikal 1	30
4.4.2	Analisa <i>Arc Flash</i> Pada Tipikal 1	36
4.5	Analisa Tipikal 2	40
4.5.1	Analisa Koordinasi Proteksi Pada Tipikal 2	41
4.5.2	Analisa <i>Arc Flash</i> Pada Tipikal 2.....	54
4.6	Analisa Tipikal 3	59
4.6.1	Analisa Koordinasi Proteksi Pada Tipikal 3	60
4.6.2	Analisa <i>Arc Flash</i> Pada Tipikal 3.....	67
4.7	Hasil Perbandingan Nilai <i>Arc Flash</i>	69

BAB 5 PENUTUP

5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	75

DAFTAR PUSTAKA	77
----------------------	----

LAMPIRAN

RIWAYAT PENULIS

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Contoh Terjadinya <i>arc flash</i> di panel listrik	6
Gambar 2.2 Ilustrasi batas aman dari konduktor bertegangan	10
Gambar 2.3 Contoh perlengkapan <i>Personal Protective Equipment</i>	11
Gambar 2.4 Klasifikasi APD berdasarkan kategori	14
Gambar 2.5 Contoh label peringatan	15
Gambar 3.1 Pemodelan <i>single line</i> diagram PT. Ispat Indo sebelum rekonfigurasi	19
Gambar 3.2 Pemodelan <i>single line</i> diagram PT. Ispat Indo setelah rekonfigurasi	20
Gambar 4.1 Koordinasi rele tipikal 1	30
Gambar 4.2 Kurva koordinasi arus waktu <i>existing</i> tipikal 1 mulai dari sisi primer trafo TR65 sampai ke sumber PLN	31
Gambar 4.3 Kurva koordinasi arus waktu <i>resetting</i> tipikal 1 mulai dari sisi primer trafo TR65 sampai ke sumber PLN	36
Gambar 4.4 Koordinasi rele tipikal 2	41
Gambar 4.5 Kurva koordinasi arus waktu <i>existing</i> tipikal 2	41
Gambar 4.6 Kurva koordinasi arus waktu <i>resetting</i> tipikal 2 mulai dari sisi primer trafo TR 14 sampai ke sumber PLN	54
Gambar 4.7 Koordinasi rele tipikal 3	60
Gambar 4.8 Kurva koordinasi arus waktu <i>existing</i> tipikal 3 mulai dari motor <i>booster fan</i> sampai bus <i>Yard</i>	61
Gambar 4.9 Kurva koordinasi arus waktu <i>existing</i> tipikal 3 saat terjadi gangguan pada motor	61
Gambar 4.10 Kurva koordinasi arus waktu <i>resetting</i> tipikal 3 saat terjadi gangguan pada motor	66

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Faktor jarak (x) Untuk Peralatan dan Kelas Tegangan	9
Tabel 2.2 <i>Typical Bus Gaps</i>	9
Tabel 2.3 <i>Typical Working Distance</i>	9
Tabel 2.4 Kategori <i>Personal Protective Equipment</i>	12
Tabel 2.5 <i>Personal Protective Equipment</i> untuk kategori 1	12
Tabel 2.6 <i>Personal Protective Equipment</i> untuk kategori 2	12
Tabel 2.7 <i>Personal Protective Equipment</i> untuk kategori 3 dan 4	13
Tabel 2.8 <i>Summary of Protective Clothing Categories (From Table 130.7(C) of NFPA 70E 2004)</i>	13
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>arc furnace</i>	21
Tabel 3.2 Spesifikasi LRF	22
Tabel 3.3 Data Trafo T65	23
Tabel 3.4 Data Trafo T2	23
Tabel 3.5 Data Trafo 8 pada bus MG panel II	24
Tabel 3.6 Data Trafo 12 pada bus MG panel II	24
Tabel 3.7 Data Trafo 14 pada bus MG panel II	24
Tabel 3.8 Data Trafo 17 pada bus Kirloskar Panel	24
Tabel 3.9 Data Trafo 21 pada bus Voltas Panel II	25
Tabel 3.10 Data Trafo 30 pada bus Crompton Panel	25
Tabel 3.11 Data Trafo 26 pada bus Schneider	25
Tabel 4.1 Data hubung singkat bus pada tipikal 1	29
Tabel 4.2 Data hubung singkat bus pada tipikal 2	29
Tabel 4.3 Data hubung singkat bus pada tipikal 3	29
Tabel 4.4 Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> software ETAP pada sistem eksisting tipikal 1	37
Tabel 4.5 Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> software ETAP pada sistem reseting tipikal 1	37
Tabel 4.6 Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> software ETAP pada sistem eksisting tipikal 2	55
Tabel 4.7 Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> software ETAP pada sistem reseting tipikal 2	55
Tabel 4.8 Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> software ETAP pada sistem eksisting tipikal 3	67
Tabel 4.9 Hasil simulasi <i>incident energy arc flash</i> software ETAP pada sistem reseting tipikal 3	67

Tabel 4.10	Perbandingan <i>incident energy arc flash</i> tipikal 1.....	69
Tabel 4.11	Perbandingan <i>incident energy arc flash</i> tipikal 2.....	71
Tabel 4.12	Perbandingan <i>incident energy arc flash</i> tipikal 3.....	73
Tabel 4.13	Perbandingan <i>incident energy arc flash</i> kondisi reseting antara simulasi ETAP dengan perhitungan manual pada tipikal 1.....	74
Tabel 4.14	Perbandingan <i>incident energy arc flash</i> kondisi reseting antara simulasi ETAP dengan perhitungan manual pada tipikal 2.....	74
Tabel 4.15	Perbandingan <i>incident energy arc flash</i> kondisi reseting antara simulasi ETAP dengan perhitungan manual pada tipikal 3.....	74

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 <i>Wiring Diagram PT. Ispat Indo</i>	79
Lampiran 2 <i>Pemodelan single line diagram PT. Ispat Indo</i> <i>sebelum rekonfigurasi</i>	81
Lampiran 3 <i>Pemodelan single line diagram PT. Ispat Indo</i> <i>setelah rekonfigurasi</i>	83

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Ispat Indo adalah sebuah pabrik peleburan baja terbesar di Jawa Timur dengan hasil produksi berupa *Billet* dan *Wire Rod* sebagai produk akhir. Untuk meningkatkan kapasitas produksi dan meningkatkan keandalan dan menjaga pasokan daya listrik, PT. ISPAT INDO melakukan penggantian trafo dari kapasitas 80 MVA ke 100 MVA di bagian *arc furnace* serta melakukan perubahan konfigurasi pada trafo 150 KV – 70 KV -11 KV menjadi 150 KV – 11 KV. Dengan bertambahnya kapasitas sumber listrik yang dibutuhkan, maka besar nilai arus gangguan juga akan semakin besar begitu juga dengan bahaya *arc flash* yang ditimbulkan. Standar NFPA 70E-2004 menetapkan fenomena *Arc-Flash* sebagai kondisi yang berbahaya yang berhubungan dengan pelepasan energi yang disebabkan oleh busur api listrik. Energi akan dilepaskan melalui udara mengalir ke fasa lain, netral atau mengalir ke tanah. *Arc-Flash* merupakan fenomena percikan api yang timbul akibat adanya arus gangguan hubung singkat. Hal yang dapat memicu gangguan hubung singkat dapat disebabkan berbagai faktor, salah satunya adalah akibat kegagalan isolasi pada konduktor atau rel busbar pada switchgear sehingga memicu terjadinya perpindahan muatan diakibatkan perbedaan potensial. Semakin cepat rele pengaman bekerja semakin kecil pula busur api yang dihasilkan dan berlaku sebaliknya. Oleh karena itu, studi untuk mengetahui besar busur api yang dihasilkan pada masing-masing *switchgear* perlu dilakukan untuk memberikan peringatan kepada para pekerja maupun orang disekitarnya akan dampak yang ditimbulkan serta perlengkapan keselamatan yang harus dikenakan sebagai langkah pencegahan agar terhindar dari jatuhnya korban jiwa. PT. ISPAT INDO perlu melakukan perhitungan insiden energi *arc flash* karena pada studi-studi sebelumnya belum ada yang menganalisa tentang materi tersebut dan juga masih belum diklasifikasikan besar energi *arc flash* sesuai dengan kategorinya. Dampak bahaya arc flash bagi manusia sangatlah berbahaya yang dapat menyebabkan kematian pada manusia tersebut. Arc flash tersebut timbul karena adanya gangguan hubung singkat. Pada paper ini menggunakan standart NEC sebagai acuan dalam kategori bahaya arc flash yang ditimbulkan[1]. Akan tetapi pada standart tersebut masih memiliki kekurangan dalam penentuan energi arc flash yang timbul. Maka penulis paper ini akan

memodifikasi standart NEC tentang bahaya arc flash yang timbul pada kategori apa dan sesuai dengan kategori tersebut akan menentukan PPE untuk kelengkapan pengamanan pada lokasi tersebut[2]. Di beberapa kasus juga tidak dicantumkan tanda arc flash pada setiap peralatan dan hal tersebut sangat penting untuk memberikan tanda pada manusia untuk berhati-hati pada peralatan yang mempunyai tanda arc flash yang disesuaikan terhadap energi arc flash yang timbul. Dan untuk menentukan kelengkapan pengamanan dari manusia tersebut dapat melihat pada NFPA 70E[3]. Selain berdampak pada pekerja, *Arc Flash* sendiri juga dapat berdampak pada rusaknya peralatan sistem tenaga listrik. Besar energi busur api yang dihasilkan tergantung dari waktu kerja sistem pengaman akibat gangguan arus hubung singkat[4]. Oleh karena itu, studi untuk mengetahui besar busur api yang dihasilkan pada masing-masing switch gear perlu dilakukan untuk memberikan peringatan kepada para pekerja maupun orang disekitarnya akan dampak yang ditimbulkan serta perlengkapan keselamatan yang harus dikenakan sebagai langkah pencegahan agar terhindar dari jatuhnya korban jiwa[5].

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Apakah kategori *arc flash* yang ada berada pada level tinggi.
2. Koordinasi proteksi pada sistem *existing* (yang telah ada).
3. Bagaimana mengurangi insiden energi yang muncul.

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana koordinasi pengaman OCR yang selektif dan efektif pada *plant* PT. Ispat Indo
2. Bagaimana cara mengetahui besar insiden energi *Arc Flash* dengan perhitungan standar IEEE 1584-2002 pada level tegangan menengah dan tegangan tinggi.

1.4 Tujuan

Tujuan dilaksanakannya tugas akhir ini adalah:

1. Menghitung *insiden energy arc flash* yang terjadi berdasarkan koordinasi proteksi yang telah dilakukan.
2. Mengklasifikasikan besar energi busur api sesuai dengan kategorinya menurut standar IEEE 1584-2002.

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Studi literatur
Penulis mempelajari literatur mengenai arus hubung singkat, analisa sistem tenaga, koordinasi proteksi, perhitungan *arc flash*.
2. Pengumpulan Data
Pengambilan data yang didapatkan dari *single line diagram* berupa spesifikasi peralatan baik itu generator, transformator, motor, CB, dan peralatan lainnya.
3. Simulasi
Data yang diperoleh kemudian diolah dalam bentuk simulasi untuk mengetahui kategori *arc flash*, meresetting proteksi yang belum benar, serta mereduksi *energy arc flash* dengan menggunakan *software* ETAP 12.6
4. Analisa Data
Dari simulasi dan pemodelan didapatkan karakteristik dan kategori *arc flash* dari sistem kelistrikan dan kemudian dilakukan analisa terhadap hasil tersebut.
5. Penulisan Buku Tugas Akhir.
Penulisan laporan adalah rangkuman kesimpulan akhir dari beberapa rangkaian metodologi diatas untuk menggambarkan hasil serta analisa dan simulasi yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Bab 1 : Pendahuluan.

Bab berisi latar belakang, batasan masalah, tujuan, metodologi, relevansi dan sistematika penulisan.

Bab 2 : Gangguan Sistem Tenaga Listrik dan *Arc Flash*

Bab ini membahas masalah fenomena busur api (*arc flash*), perhitungan energi *arc flash*, kategori energi *arc flash* dan PPE, gangguan sistem tenaga listrik, analisis hubung singkat, proteksi sistem tenaga listrik, *setting* rele OCR dan koordinasi proteksi sistem tenaga listrik.

Bab 3 : Sistem Kelistrikan PT. Ispat Indo

Bab ini menjelaskan mengenai sistem kelistrikan yang ada di PT. Ispat Indo.

- Bab 4 : Analisa Perhitungan Besar Energi Busur Api yang dihasilkan.
Bab ini membahas mengenai perhitungan energi busur api yang dihasilkan sesuai standar dan membandingkannya dengan sebelum *resetting*.
- Bab 5 : Penutup
Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari keseluruhan pembahasan yang telah dilakukan dari Tugas Akhir ini.

BAB II

***ARC FLASH* DAN KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK**

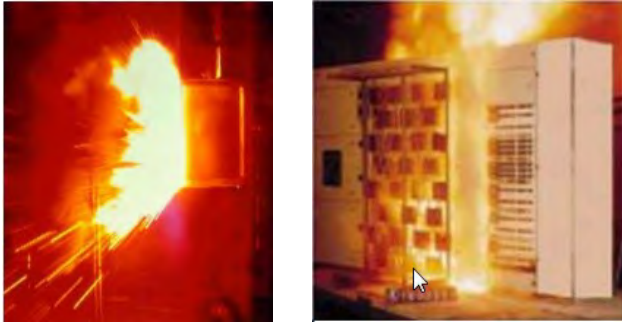
2.1 Fenomena Busur Api Listrik (*Arc-flash*)

Arc flash adalah hasil dari suatu pelepasan energi yang cepat yang disebabkan karena *arcing fault* diantara satu bus bar dengan bus bar lainnya, netral atau ground. *Arcing fault* sendiri dapat didefinisikan sebagai busur api yang diakibatkan oleh arus gangguan. Selama terjadi *arc fault* udara adalah sebagai konduktor. *Arc fault* umumnya dibatasi pada sistem dimana tegangan bus lebih dari 120 Volt. Level tegangan yang lebih rendah biasanya tidak akan mengalami suatu *arc*. Besar *arcing fault current* biasanya lebih rendah dari besar arus *bolted fault* dan di bawah *rating circuit breaker*.

Electric arc menghasilkan temperatur yang sangat panas hingga dapat mencapai lebih dari 35000 °F. Pada suhu tersebut material menguap dan mengembang. *Arc* yang sangat kuat menyebabkan perpindahan udara yang tiba-tiba. Fenomena seperti ini menyebabkan ledakan gelombang bertekanan. Jumlah energi yang dipancarkan oleh *arc flash* adalah fungsi dari tegangan, arus gangguan, jarak pekerja dari *arcing*, panjangnya *arcing*, dan waktu yang dibutuhkan oleh peralatan pengaman arus lebih untuk menghilangkan gangguan.

Ledakan yang dihasilkan oleh *arcing fault* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan dan cedera parah pada orang yang berada dekat dengan ledakan. *Arcing fault* menghasilkan semua spectrum radiasi termasuk infra merah, UV dan cahaya tampak dengan efek yang terkait seperti gelombang bertekanan yang dapat menyebabkan kehilangan pendengaran atau bahkan patah tulang. Radiasi infra merah dan panas yang berlebih dapat menyebabkan luka bakar yang parah pada kulit atau bahkan dapat menyebabkan kematian. Gelombang bertekanan, dalam beberapa kasus, dapat melempar orang melintasi ruangan selain itu juga dapat menyebabkan gagar otak, patah tulang dan lebih buruk. Kebutaan sementara biasanya terjadi dan terus diamati karena sering menjadi luka lanjutan atau menjadi lebih buruk. Tempat yang tertutup dapat menjadi bagian yang berbahaya selama terjadi *electric arc* khususnya jika pekerja tidak mendapatkan jalan ke luar. Selain itu, asap dari *arc flash* sering menyebabkan inhalasi asap atau luka bakar jaringan paru-paru yang menyebabkan kematian.

Puing-puing yang berterbangan, meskipun tidak sering menyebabkan luka, dapat menjadi bagian *electric arc* dan berpotensi menimbulkan bahaya.



Gambar 2.1 Contoh terjadinya *arc flash* di panel listrik [7]

Tiga faktor kunci untuk menentukan intensitas bahaya arc flash. Faktor-faktor ini adalah:

- *Fault current*
Fault current dapat dibatasi dengan menggunakan perangkat untuk membatasi arus seperti resistor *grounding* atau sekering .
- *Arching time*
Arching time dapat dikurangi dengan menggunakan *zone selectif interlocking* (ZSI) atau dengan memasang rele *differential* di bus.
- *Distance*
Menentukan Jarak aman, dengan melakukan analisis bahaya untuk mempertimbangkan batas aman ini , dan kemudian menentukan APD yang harus digunakan dalam batas perlindungan terhadap arc flash . Robot dapat digunakan untuk melakukan kegiatan yang memiliki risiko tinggi terjadinya arc flash.

2.2 Perhitungan Energi Arc Flash Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002 [6]

Perhitungan standar energi *Arc Flash* secara empiris berasal dari pemodelan yang memungkinkan terjadinya *Arc Flash*. Perhitungan diaplikasikan pada sistem dengan *range* tegangan tiga fasa 208 V-15000 V, frekuensi 50-60 Hz, *bolted fault current* 700 A-106 kA. Gap antar

konduktor 13 mm - 152 mm dan sistem diuji dengan gangguan hubung singkat tiga fasa.

Berdasarkan standar IEEE 1584-2002, menentukan nilai *arcing current* saat gangguan tiga fasa diperlukan untuk menentukan waktu operasi CB agar peralatan sistem dapat terlindungi. Persamaan untuk menentukan *arcing current* untuk system dibawah 1kV adalah [6] :

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588V (\lg I_{bf}) - 0,00304G(\lg I_{bf}) \quad (2.1)$$

dimana,

$\lg = \log_{10}$

$I_a = \text{arcing current (kA)}$

$K = -0,153$ untuk konfigurasi bus terbuka (*open configurations bus*) dan $-0,097$ untuk konfigurasi bus tertutup (*box configurations bus*)

Open configuration : - *Cable bus*

- *Open air*

Box configuration : - *MCC*

- *Switchgear*

- *Switchboard*

- *Panel board*

$I_{bf} = \text{bolted fault current untuk gangguan tiga fasa (kA)}$

$V = \text{tegangan sistem (kV)}$

$G = \text{jarak antar konduktor (mm)}$

Sementara itu untuk menentukan *arcing current* pada sistem 1 kV atau lebih digunakan persamaan berikut :

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf} \quad (2.2)$$

dimana,

$\lg = \log_{10}$

$I_a = \text{arus Arc Flash / Arcing Current (kA)}$

$I_{bf} = \text{bolted three-phase fault at the bus symmetrical rms (kA)}$

Dari persamaan (2.2) dapat ditulis kembali seperti persamaan berikut :

$$\lg I_a - 0,983 \lg I_{bf} = 0,00402$$

$$\lg I_a - \lg I_{bf}^{0,983} = 0,00402$$

$$\lg (I_a / I_{bf}^{0,983}) = 0,00402$$

$$I_a / I_{bf}^{0,983} = 10^{0,00402}$$

$$I_a / I_{bf}^{0,983} = 1,00929$$

$$I_a = 1,01 \times I_{bf}^{0,983} \quad (2.3)$$

Untuk perhitungan arus *Arc Flash* pada level tegangan 1000 V atau lebih K (konstanta untuk *open* atau *box configurations*) diabaikan. Sementara itu untuk menghitung besar *incident energy* berdasarkan standar IEEE 1584-2002 digunakan persamaan berikut[6]:

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1.081 \lg I_a + 0.0011 G \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) dapat disederhanakan menjadi persamaan (2.5) :

$$E_n = I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011G)} \quad (2.5)$$

dimana:

E_n = *incident energy* (J/cm²) *normalized* untuk waktu dan jarak

K1 = -0.792 untuk konfigurasi terbuka (*no enclosure*) dan -0.555 untuk konfigurasi *box* (*enclosed equipment*)

K2 = 0 untuk sistem *ungrounded* and *high-resistance grounded* dan -0.113 untuk sistem *grounded*

G = jarak antar konduktor (mm)

Dengan adanya variabel waktu, ^(x) faktor dan jarak antara peralatan dengan pekerja maka akan menghasilkan jumlah energi yang dilepaskan ke udara. Besarnya dapat dituliskan dalam persamaan berikut dalam satuan cal/cm².

$$E = C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610}{D} \right)^x \quad (2.6)$$

dimana,

E = *incident energy* (cal/cm²)

C_f = *calculation factor*,

1.0 untuk tegangan diatas 1kV

1.5 untuk tegangan dibawah 1kV

E_n = *incident energy* (J/cm²) *normalized by constanta* (4,184)

t = *arcing time* (detik)

D = jarak antara titik *Arc Flash* dengan pekerja/ *person*

x = *distance x factor*, berdasarkan tabel 2.1

Standar untuk *distance x factor* dapat dilihat dalam tabel 2.1 seperti dibawah ini :

Tabel 2.1 Faktor jarak (x) untuk peralatan dan kelas tegangan [7]

Enclosure Type	0.208 to 1 kV	>1 to 15 kV
Open air	2	2
Switchgear	1.473	0.973
MCC and Panels	1.641	-
Cable	2	2

Sedangkan untuk jarak standar antar konduktor (*gap*) dan jarak pekerja untuk masing-masing kelas peralatan ditunjukkan pada tabel 2.2 dan 2.3

Tabel 2.2 *Typical bus gaps* [6]

<i>Classes of equipment</i>	<i>Typical bus gaps (mm)</i>
15 kV <i>Switchgear</i>	152
5 kV <i>Switchgear</i>	104
<i>Low voltage switchgear</i>	32
<i>Low voltage MCC and panelboards</i>	25
<i>Cable</i>	13
<i>other</i>	Not required

Tabel 2.3 *Typical working distance* [6]

<i>Classes of equipment</i>	<i>Typical working distance (mm)</i>
15 kV switchgear	910
5 kV switchgear	910
Low-voltage switchgear	610
Low-voltage MCCs and panelboards	455
Cable	455

2.3 Flash Protection Boundary [8]

Merupakan batas jarak dari bagian konduktor aktif dimana orang pada jarak tersebut dapat terpapar luka bakar tingkat dua jika ledakan busur api listrik terjadi. Jarak tersebut dapat diketahui apabila besar energi busur api listrik tersebut telah terhitung. Metode perhitungan jarak tersebut dapat dijelaskan pada persamaan standar IEEE 1584-2002 berikut ini :

$$D_B = \left[4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

Dimana,

D_B = batas jarak dari titik *arcing* (mm)

t = waktu arcing (dtk)

C_f = faktor pengali

x = eksponen jarak

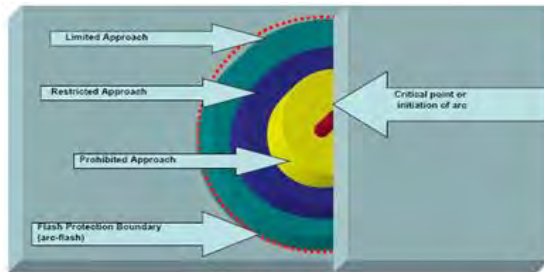
1,0 untuk tegangan di atas 1 kV

1,5 untuk tegangan di bawah 1 kV

E_n = insiden energi *normalized*

E_B = insiden energi dalam J/cm² (diset 5 J/cm² pada tingkat luka bakar)

Pada gambar 2.2 terdapat ilustrasi batas aman dari konduktor yang bertegangan.



Gambar 2.2 Ilustrasi batas aman dari konduktor bertegangan.

Flash protection boundary seperti terlihat pada gambar 2.2, meliputi:

a. *Limited Approach Boundary*

Merupakan batas perlindungan untuk tidak dilewati oleh orang-orang yang tidak memenuhi syarat kecuali diawasi oleh orang-orang yang berpengalaman. Area ini batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana terdapat sebuah bahaya sengatan listrik.

b. *Restricted Approach Boundary*

Batas perlindungan yang hanya boleh dilewati oleh orang-orang yang berpengalaman dan saat melintasi batas ini harus mengenakan pakaian dan peralatan yang dibutuhkan. Peningkatan *arc flash* dapat terjadi dikarenakan kombinasi *arc flash* dengan gerakan pekerja yang tidak sengaja.

c. *Prohibited Approach Boundary*

Batas pendekatan/perlindungan jarak dari bagian konduktor aktif dimana pekerja dianggap seperti melakukan kontak langsung dengan konduktor aktif.

d. *Flash Protection Boundary*

Merupakan batas perlindungan, dimana tingkat *incident energy* sama dengan $1,2 \text{ cal/cm}^2$. Area ini memungkinkan pekerja mengalami dampak cedera parah jika terjadi *arc flash*

2.4 Kategori Energi Busur Api dan Perlengkapan Keselamatan Pekerja

Setelah dilakukan perhitungan energi busur api yang dihasilkan pada tiap-tiap bus *switchgear*. Langkah selanjutnya adalah mengkategorikan perlengkapan keselamatan yang harus digunakan bagi para pekerja atau juga disebut dengan PPE (*Personal Protective Equipment*). Kategori ini didasari atas besarnya energi yang dihasilkan serta dampak yang ditimbulkan bagi tubuh manusia. *Personal protective equipment* merupakan perlengkapan keselamatan yang harus digunakan oleh *personal* yang akan masuk ke area rawan *Arc Flash*. Perlengkapan ini telah diatur berdasarkan standar NFPA 70E-2009 [9]. Contoh PPE yang harus digunakan pekerja terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Contoh perlengkapan *Personal Protective Equipment*

Alat pelindung diri bagi pekerja dikelompokkan berdasarkan kategori insiden energi yang dilepaskan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Kategori *Personal Protective Equipment* [10]

Category	Cal/cm ²	Clothing
0	1,2	Untreated Cotton
1	4	Flame retardant (FR) shirt and FR pants
2	8	Cotton underwear FR shirt and FR pants
3	25	Cotton underwear FR shirt, FR pants and FR coveralls
4	40	Cotton underwear FR shirt, FR pants and double layer switching coat and pants

Untuk lebih jelasnya peralatan pelindung diri (PPE) pada masing-masing kategori dijelaskan oleh tabel dibawah ini:

Personal Protective Equipment untuk kategori 1 dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 *Personal Protective Equipment* untuk kategori 1 [10]

Jenis	Peralatan dan pakaian pelindung
Pakaian	1. Pakaian lengan pendek 2. Celana panjang
Pelindung mata	Kacamata

Personal Protective Equipment untuk kategori 2 dapat dilihat pada tabel 2.6 berikut:

Tabel 2.6 *Personal Protective Equipment* untuk kategori 2 [10]

Jenis	Peralatan dan Pakaian pelindung
Pakaian	1. Pakaian lengan pendek 2. Celana panjang
Pelindung kepala	Helm
Pelindung mata	Kacamata
Pelindung wajah dan Kepala	Pelindung wajah dari <i>arc</i>
Pelindung tangan	Sarung tangan kulit
Pelindung kaki	Sepatu kerja kulit

Personal Protective Equipment untuk kategori 3 dan 4 dapat dilihat pada tabel 2.7 berikut:

Tabel 2.7 *Personal Protective Equipment* untuk kategori 3 dan 4 [10]

Jenis	Peralatan dan pakaian pelindung
Pakaian	1. Pakaian lengan panjang 2. Celana panjang 3. Jaket
Pelindung kepala	Helm
Pelindung mata	Kacamata
Pelindung wajah dan kepala	1. <i>Flash suit hood</i> 2. Pelindung telinga
Pelindung tangan	Sarung tangan kulit
Pelindung kaki	Sepatu kerja kulit

Tabel 2.8 adalah tabel PPE *minimum arc rating* berdasarkan kategori *Arc Flash* yang terjadi pada sebuah sistem kelistrikan [11]:

Tabel 2.8 *Summary of Protective Clothing Categories (From Table 130.7(C) of NFPA 70E 2004)* [11]

<i>Hazard/Risk Category</i>	<i>PPE Minimum Arc Rating (cal/cm²)</i>	<i>PPE Minimum Arc Rating (J/cm²)</i>
0	N/A	N/A
1	4	16.74
2	8	33.47
3	25	104.8
4	40	167.37

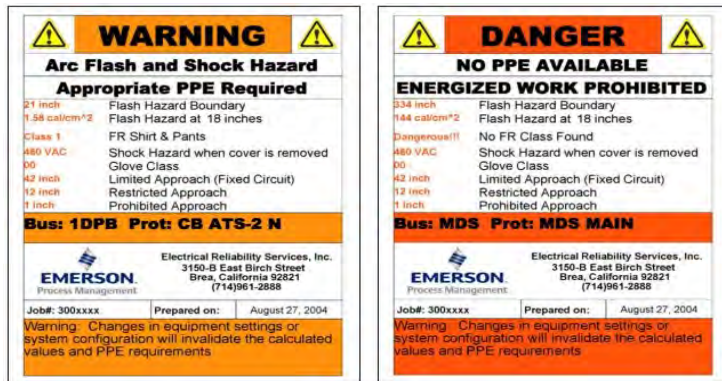
Supaya lebih jelas peralatan pelindung diri (PPE) pada masing-masing kategori ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Klasifikasi APD berdasarkan kategori

Semakin besar energi insiden busur api yang akan ditimbulkan juga akan mempengaruhi jenis kategori PPE yang akan digunakan pekerja pada saat perawatan atau perbaikan pada peralatan bertegangan. Jika pekerja mengabaikan peraturan penggunaan perlengkapan keselamatan diri ini dapat berakibat fatal bahkan kematian akibat dari besarnya energi busur api yang ditimbulkan.

Agar para pekerja mengetahui apakah suatu peralatan bertegangan sudah diklasifikasikan berdasarkan kategori PPE, maka diperlukan suatu tanda atau label yang berfungsi sebagai peringatan atau *warning* bagi para pekerja pada saat melakukan perbaikan atau perawatan. Gambar 2.5 menunjukkan contoh label peringatan bagi para pekerja.



Gambar 2.5 Contoh label peringatan

2.5 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Sumber gangguan pada suatu sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor dari dalam sistem dan dari luar sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain:

1. Tegangan dan arus yang tidak normal.
2. Pemasangan yang kurang baik.
3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan pada peralatan.
4. Beban lebih.
5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat pada isolasi.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain:

1. Gangguan-gangguan yang bersifat mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus pada isolasi peralatan (*breakdown*).
3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, bintang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Jenis gangguan (*fault*) pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2 kelompok [4]:

1. Gangguan yang bersifat temporer, dimana gangguan dapat hilang dengan sendirinya atau dengan bagian yang terganggu diputus

secara sesaat dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan seketika, baik hilang dengan sendirinya maupun karena kerja alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.

2. Gangguan yang bersifat permanen, yaitu untuk memperbaikinya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Saat terjadi gangguan pada suatu sistem akan mengalir arus yang sangat besar pada menuju ke titik gangguan pada fasa yang terganggu, dimana arus gangguan tersebut memiliki nilai yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga dapat terjadi kenaikan temperatur/panas pada peralatan yang dapat menyebabkan kerusakan.

2.5.1 Gangguan Beban Lebih

Gangguan ini terjadi karena arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diizinkan ($I > I_n$). Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik (trafo, generator, motor, dll) dan pengaman yang terpasang. Bila gangguan ini dibiarkan terus menerus, maka dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

2.5.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat terjadi satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa, atau tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat asimetri. Gangguan hubung singkat tiga fasa merupakan gangguan hubung singkat simetri, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat asimetri [10].

Gangguan-gangguan yang timbul karena adanya gangguan hubung singkat antara lain:

1. Kerusakan pada peralatan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
2. Stabilitas daya pada sistem menurun.
3. Kontinuitas pelayanan listrik ke beban dapat terhenti apabila gangguan hubung singkat tersebut sampai mengakibatkan *circuit breaker* (CB) bekerja sehingga terjadi pemadaman listrik.

Sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tak simetri ini terjadi sebagai akibat

gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah dan gangguan dapat diperkecil dengan cara pemeliharannya.

2.5.3 Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih terjadi apabila ada kelainan dalam sistem. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi antara lain karena :

1. Gangguan petir
2. Gangguan surja hubung, diantaranya adalah penutupan saluran yang tidak serempak pada saat pemutusan tiga fasa, penutupan saluran kembali dengan cepat, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan saluran yang semula tidak masuk ke dalam sistem dan sebagainya.

2.6 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus yang cukup tinggi akan akan mengalir dari sumber ke titik gangguan pada saat terjadi saat hubung singkat. Besarnya arus yang mengalir ini dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi pada rangkaian yang dilalui arus hubung singkat. Beberapa cycle kemudian arus hubung singkat cenderung menurun dan reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi transien atau *transient reactance* ($X'd$) dan akhirnya kondisinya mencapai steady state dan pada saat ini reaktansinya disebut dengan reaktansi sinkron atau *synchronous reactance* (X_d)[11].

2.6.1 Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan ketiga fasa. Arus hubung singkat tiga fasa (I_{sc3}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc3} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (2.7)$$

Dimana V_{LN} adalah tegangan nominal *line to netral*, dan X_1 adalah reaktansi urutan positif.

2.6.2 Hubung Singkat Antar Fasa

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc2}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc2} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3} \approx 0.86 I_{sc3} \quad (2.8)$$

Dimana,

V_{LL} = tegangan *line to line*

- X1 = reaktansi urutan positif
 X2 = reaktansi urutan negatif

2.6.3 Hubung Singkat Fasa ke Netral

Hubung singkat ini terjadi antara salah satu fasa dengan netral. Arus hubung singkat fasa ke netral (I_{sc1}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc1} = \frac{V_{LL}/\sqrt{3}}{Z_{sc} + Z_{LN}} \quad (2.9)$$

Dimana Z_{LN} adalah impedansi netral sedangkan Z_{sc} adalah impedansi *short circuit*.

2.6.4 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol (Z_0), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc0}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc0} = \frac{3V_{Ln}}{X_1 + X_2 + X_0} \quad (2.10)$$

Dimana,

V_{Ln} = Tegangan *line-netral*

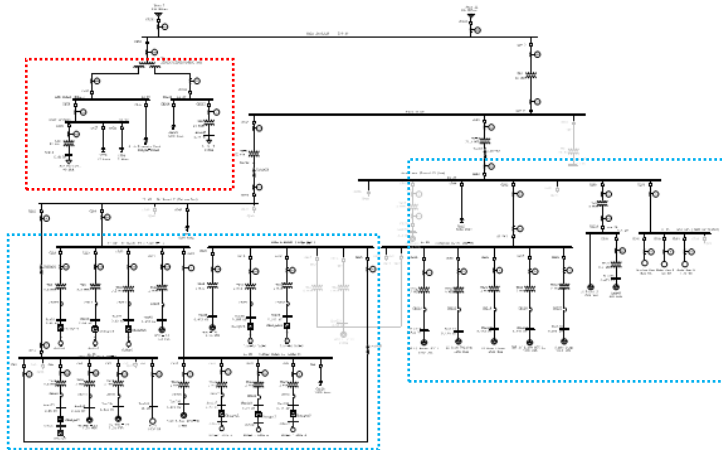
- X1 = reaktansi urutan positif
 X2 = reaktansi urutan negatif
 X0 = reaktansi urutan nol

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN DI PT.ISPATINDO, SIDOARJO, JAWA TIMUR

3.1 Sistem Kelistrikan

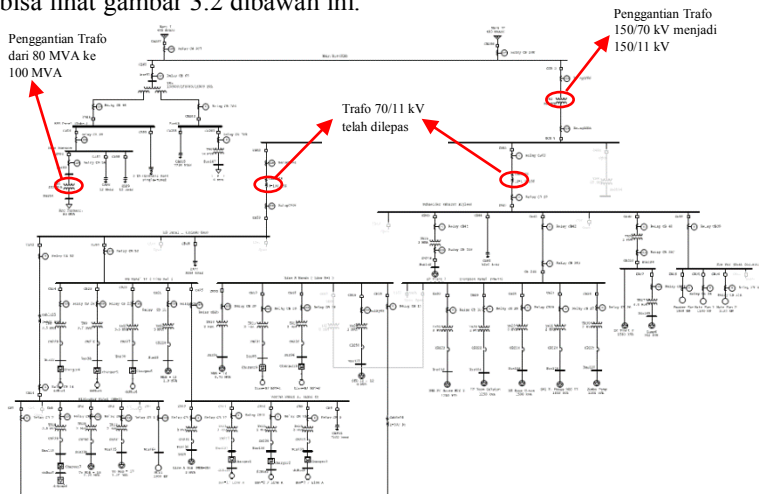
Energi listrik yang digunakan di PT. Ispat Indo untuk mesuplai kebutuhan produksi berasal dari sumber penyulang PLN Waru I dan Waru II dengan tegangan 150 kV. Proses pendistribusian energi listrik yang digunakan di PT. Ispat Indo ini menggunakan sistem radial. Untuk pembebanan yang ada di PT. Ispat Indo ini dibagi menjadi 2 blok, yaitu blok 1 untuk proses produksi utama dengan beban utama Arc Furnace dan Ladle Furnace, serta blok ke 2 yang dengan beban rolling mil, finishing tool, dan office. Untuk single line diagram bisa dilihat di lampiran. Pada gambar 3.1 di bawah ini adalah pemodelannya dari *software* simulasi.



Gambar 3.1 Pemodelan *single line* diagram PT.Ispat Indo sebelum rekonfigurasi

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1 bahwa beban utama berada pada kotak yang berwarna merah dan 2 kotak yang berwarna biru merupakan beban untuk *rolling mil*, *finishing tool*, dan *office*. Kebutuhan tenaga listrik yang cukup tinggi melalui transformator daya untuk blok utama menggunakan trafo 3 *windings* 150/33/11 KV dengan daya 150/150/14 MVA. Untuk beban EAF (*electric arc furnace*) menggunakan

tegangan 33 kV yang nantinya akan diturunkan lagi ke level tegangan rendah sebesar 0.69 kV lewat trafo dengan daya 80 MVA. Sedangkan untuk beban LRF (*ladle refining furnace*) menggunakan tegangan yang 11 kV dan diturunkan lagi ke level tegangan rendah sebesar 0.27 kV lewat trafo dengan daya sebesar 14 MVA. Untuk blok ke 2 menggunakan trafo 2 windings 150/70 KV yang kemudian dari tegangan 70 KV akan diturunkan lagi menjadi 11 KV untuk didistribusikan ke beban untuk *rolling mil*, *finishing tool*, dan *office*. Dikarenakan ada peningkatan jumlah produksi maka PT. Ispat Indo melakukan penambahan daya pada beban EAF (*electric arc furnace*) yaitu dengan mengganti trafo 80 MVA menjadi trafo dengan kapasitas 100 MVA. Selain itu PT. SPAT INDO melakukan rekonfigurasi terhadap sistem kelistrikannya dengan memilih trafo baru untuk blok ke 2 dengan tegangan 150 KV langsung menuju tegangan 11 KV tanpa melalui tegangan 70 kV. Untuk lebih jelasnya bisa lihat gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Pemodelan *single line* diagram PT.Ispat Indo setelah rekonfigurasi

3.2 Data Beban/Peralatan dan Transformator

Peralatan pada proses produksi dimulai dari bahan baku sampai produk akhir (*wire rod*), secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Peralatan peleburan bahan baku dan pengecoran billet.
2. Peralatan dan mesin pengerolan (*rolling*).
3. Peralatan finishing.

3.2.1 Peralatan Peleburan Bahan Baku dan Pengecoran

1. EAF (*Electric Arc Furnace*)

Bertanggung jawab melakukan peleburan *scrap*, pada bagian ini *scrap* dimasak dalam BRF (*Billet Reheating Furnace*) bertemperatur 1600 °C. EAF yang digunakan oleh PT.Ispat Indo menggunakan tiga buah *elektrode* dan tiga *burner*. Pada bagian ini selain *scrap* dimasukkan pula bahan-bahan lain seperti dolomite, limes dan batu kapur. Serta dalam jangka waktu tertentu disuntikkan pula serbuk karbon dan oksigen untuk mendapatkan pembakaran yang optimum.

Table 3.1 Spesifikasi *arc furnace*

<i>EAf specification</i>	
<i>Kapasitas Trafo</i>	100 MVA
<i>Power Factor</i>	0.86
<i>Max, Sec voltage</i>	798 V
<i>Current</i>	60 kA
<i>Voltage</i>	0.69 kV
<i>PIR</i>	64 MW
<i>Heating rate</i>	23 ⁰ C/min
<i>PCD</i>	1284
<i>Electrode diameter</i>	24 inch

2. LRF(*Ladle Refining Furnace*)

Bertanggung jawab melakukan pemanasan ulang material yang berada di *laddle* dengan temperatur sekitar 1500 °C. Disini akan diadakan uji sample untuk melihat kualitas, ketahanan, serta elastisitas dari material ke *spectrum*. Kemudian *spectrum* mengirimkan rekomendasi apakah perlu menambahkan unsur-unsur tambahan (C,Mn,P,S,Si) untuk mendapatkan produk yang sesuai dengan suatu standar. Biasanya uji sample sampai mendekati permintaan dilakukan sebanyak 5 kali uji. Pengiriman sample menggunakan hidrolik. Pada bagian ini material liquid yang telah diproses oleh LRF siap untuk dicetak menjadi billet.

Table 3.2 Spesifikasi *LRF (Ladle Refining Furnace)*

<i>LRF specification</i>	
<i>Kapasitas Trafo</i>	<i>14 MVA</i>
<i>Power Factor</i>	<i>0,86</i>
<i>Max, Sec voltage</i>	<i>798 V</i>
<i>Current</i>	<i>24 KA</i>
<i>Voltage</i>	<i>0.27 KV</i>
<i>PIR</i>	<i>9 MW</i>
<i>Heating rate</i>	<i>24 °C/min</i>
<i>PCD</i>	<i>900 mm</i>
<i>Electrode diameter</i>	<i>14 inch</i>
<i>Volume</i>	<i>61.1 m³</i>

3.2.2 Peralatan dan Mesin Pengerolan (*Rolling Mill*)

1. Descaler

Descaler berfungsi untuk mengurangi timbunan skill pada billet dengan air yang disemprotkan. untuk menyemprotkan air yang di pompa dari satu pompa. daya pompa air 110 KW, 191 ampere, 1485 rpm. Sedangkan daya motor untuk menggerakkan roll 45 KW, 77 ampere .

2. Roller table BRF

Adalah roll tempat mentransfer billet digerakkan oleh 6 motor dengan daya 1.1 KW; 2.9 ampere; dan 41.5 volt.

3. Pinch Roll

Berfungsi untuk memperlambat kecepatan billet digerakan oleh motor DC dengan daya 350 KW, 600 volt, 627 ampere dan mempunyai putaran antara 600 – 1200 RPM.

3.2.3 Peralatan Finishing

Penyelesaian *coil* keluar dari *turn forming head* kemudian melewati *cooling conveyor* yang berfungsi untuk mendinginkan dan mengirim *coil* menuju *trustle*. *Trustle* ini berbentuk kerucut yang berfungsi menerima *cooling* dari *conveyor*. *Trustle* digerakkan oleh *roll table* yang bekerja secara elektrik kemudian memindahkan *coil* ke *hook conveyor*. Jumlah hook sebanyak 40 buah yang gerakannya diatur oleh satu terminal pusat (operator) dengan sistem komputerisasi. Dari *hook conveyor* kumpulan *coil wire rod* disortir antara yang baik (*good grade*) atau *reject (downgrade)*, kemudian *coil* yang baik dibawa ke *compacting*

untuk diikat (sebanyak 4 ikatan) dengan sistem hidrolik kemudian diambil oleh alat *storage transfer* yang dipersiapkan untuk diambil forklift dan diletakkan di *storage area*.

3.2.4 Transformator

Transformator merupakan peralatan utama dalam suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah level tegangan dalam proses penyaluran energi listrik. Transformator yang digunakan di PT. Ispat Indo berfungsi untuk menurunkan level tegangan 150 kV dari PLN ke beberapa level tegangan sesuai dengan spesifikasi peralatan yang ada di PT Ispat Indo. Data-data transformator yang digunakan bisa dilihat pada tabel 3.3 sampai 3.11 dibawah ini:

Tabel 3.3 Data trafo T65

Type	PDOR 158000/170	Frequency	50 HZ
Sr. number	142000282	Vector	YNyn0d1
Year of Manufactur	2005	Type of cooling	ONAN/ONAF 80 / 100%
Standard	IEC60076	Oil temp.	60 ⁰ K
		Average winding	65 ⁰ K
Rated Power MVA	Rated Voltage kV		Rated Current A
HV : 150	150		577.4
LV : 150	33		2624
TV : 16	11		839.8

Tabel 3.4 Data trafo T2

Year of manufacture	1977	Temp rise – Oil	60 ⁰ C
Rating	60 MVA	Temp. Winding	65 ⁰ C
Frequency	50 Hz	Vector Group	Yn D5
INS LEVEL	HV		LV
	270 kV		140 kV
	650 kV		325 kV

Tabel 3.5 Data trafo 8 pada bus MG Panel II (Line A-1)

Nama trafo	Trafo 8 Kirloskar
Kapasitas	3.5 MVA
Group Vektor	Dyn11
Tegangan	11 kV / 550 V
Arus nominal	183.7 A / 3674 A
Impedansi	6.47%
Tahun Pembuatan	1991
Volume oli	3103 liter

Tabel 3.6 Data trafo 12 pada bus MG Panel II (Line A-1)

Nama trafo	Trafo 12 Bharat Bijlee
Kapasitas	3 MVA
Group Vektor	Dyn11
Tegangan	11 kV / 433 V
Arus nominal	157.5 A / 4000 A
Impedansi	
Tahun Pembuatan	1991
Volume oli	1850 liter

Tabel 3.7 Data Trafo 14 pada bus MG Panel II (Line A-1)

Nama trafo	Trafo 14 Bambang Djaya
Kapasitas	1 MVA
Group Vektor	Dyn11
Tegangan	11 kV / 433 – 250 V
Arus nominal	52.5 A / 1333.4 A
Impedansi	
Tahun Pembuatan	1993
Volume oli	

Tabel 3.8 Data trafo 17 pada bus Kirloskar Panel (MR-1)

Nama trafo	Trafo 17 Kirloskar
Kapasitas	2 MVA
Group Vektor	Dyn11
Tegangan	11 kV / 433 V
Arus nominal	104.9 A / 2666.7 A
Impedansi	6.35%
Tahun Pembuatan	1980
Volume oli	2350 liter

Tabel 3.9 Data trafo 21 pada bus Voltas Panel II (line C)

Nama trafo	Trafo 21 Bharat Bijlee
Kapasitas	3 MVA
Group Vektor	Dyn11 (ungrounded netral)
Tegangan	11 kV / 730 V
Arus nominal	157.5 A / 2373 A
Impedansi	6.7 %
Tahun Pembuatan	1992
Volume oli	1950 liter

Tabel 3.10 Data trafo 30 pada bus Croumpton Panel (MR-II)

Nama trafo	Trafo 30 Bharat Bijlee
Kapasitas	2 MVA
Group Vektor	Dyn11
Tegangan	11 kV / 3.3 kV
Arus nominal	105 A / 350 A
Impedansi	6.15 %
Tahun Pembuatan	2000
Volume oli	1350 liter

Tabel 3.11 Data trafo 26 pada bus Schneider (Bharat Bijlee)

Nama trafo	Trafo Bambang Djaya
Kapasitas	3 MVA
Group Vektor	Dyn11
Tegangan	11 kV / 3.3 kV
Arus nominal	157.5 A/ 505 A
Impedansi	6.61 %
Tahun Pembuatan	2007
Volume oli	2581 liter

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

Hasil Simulasi dan Analisis

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengurangan insiden energi *arc flash* sistem tegangan rendah 11 KV, 33 KV dan 150 KV di PT. Ispat Indo. Proses pengurangan insiden energi ini dilakukan dengan melakukan *resetting* sistem proteksi yang telah ada serta memasang rele differensial jika nilai *arc flash* melebihi standar *NFPA 70E 2004*. Setelah didapatkan kondisi *resetting* dan koordinasi pengaman yang benar, selanjutnya dihitung dan disimulasikan untuk mendapatkan nilai insiden energi *arc flash* yang sesuai standart sehingga lebih aman. Jika nilai insiden energi *arc flash* yang didapat melebihi standar yang ada maka untuk mengurangi nilai insiden energi nya menggunakan rele diferensial. Untuk mempermudah melakukan analisis, sistem kelistrikan akan dimodelkan dalam Single Line Diagram menggunakan ETAP 12.6.

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan

Pemodelan sistem Kelistrikan PT. Ispat Indo dilakukan dengan cara membuat *single line diagram* pada *software* simulasi ETAP seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1 untuk sistem eksisting dan gambar 3.2 untuk sistem reseting. Dalam membuat *single line diagram* dibutuhkan beberapa data peralatan, yaitu data kabel, trafo, generator, motor, bus, rele dan sistem pentanahan.

Setelah memodelkan sistem dengan membuat *single line diagram* sistem kelistrikan PT Ispat Indo dapat diketahui sistem kelistrikan *existing*. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui kondisi sistem telah dalam kondisi *steady state*, sehingga dari analisis tersebut dapat diketahui tegangan bus, pembebanan trafo, pembebanan bus, rugi-rugi daya listrik dan faktor daya pada tiap *feeder*.

4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi *Setting* Rele Pengaman pada PT. Ispat Indo.

Dalam *setting* rele pengaman untuk mempermudah *setting* koordinasi rele pengaman, maka dipilih beberapa tipikal dari masing-masing plant utama PT Ispat Indo, yaitu:

1. Tipikal 1 : Koordinasi mulai bus 14 0.69 kV hingga Main Bus 150 kV , yaitu : rele OCR CB 56, OCR CB 54, OCR CB 66, OCR CB 65 dan OCR CB 207.
2. Tipikal 2 : Koordinasi mulai bus 94 0.43 kV hingga Main Bus 150 kV , yaitu: rele OCR CB 20, OCR CB 15, OCR CB 7, OCR CB 14, OCR CB 52, OCR CB 59, OCR CB 60, OCR GCB5, OCR GCB2 dan OCR CB 208.
3. Tipikal 3 : Koordinasi mulai beban Boster Fan 1600 KW hingga Bus Yard 11 kV, yaitu: rele OCR CB 36, OCR CB 39, OCR CB 62 dan OCR CB 63.

4.3 Analisa Hubung Singkat

Langkah pertama perhitungan arus hubung singkat adalah dengan menghitung nilai impedansi yang terdapat pada sistem kelistrikan yang mengalami gangguan hubung singkat. Untuk itu diperlukan data - data sebagai berikut:

1. Sumber PLN yang terhubung pada sistem
2. Transformator daya
3. Kabel
4. Single line diagram
5. Beban

Untuk perhitungan ini digunakan dua konfigurasi yang mewakili hubung singkat minimum dan maksimum yaitu :

1. Hubung singkat minimum : Sistem disuplai oleh salah satu feeder PLN 150 kV dari Waru I atau Waru II.
2. Hubung singkat maksimum : Sistem disuplai oleh dua feeder PLN 150 kV yaitu dari Waru I dan Waru II.

Untuk menghitung arus hubung singkat digunakan software ETAP 7.0. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat 2 fasa pada 30 cycle. Sedangkan hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa pada 4 cycle. Pada tabel 4.1 sampai 4.3 didapatkan hasil simulasi hubung singkat maksimum dan minimum pada bus sesuai dengan tipikalnya masing-masing:

Tabel 4.1 Data hubung singkat bus pada tipikal 1.

No	BUS ID	Tegangan (kV)	Isc max (kA)	Isc min (kA)	
			4 cycle (3 ϕ)	30 cycle (3 ϕ)	30 cycle (2 ϕ)
1	Main Bus	150	3.97	1.91	1.65
2	ABB Panel	33	12.42	7.16	6.2
3	Near Furnace	33	12.42	7.16	6.2
4	14	0.69	441.6	284.4	246.29

Tabel 4.2 Data hubung singkat bus pada tipikal 2.

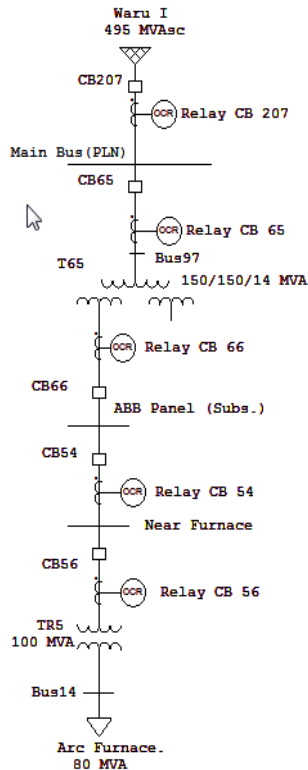
No	BUS ID	Tegangan (kV)	Isc max (kA)	Isc min (kA)	
			4 cycle (3 ϕ)	30 cycle (3 ϕ)	30 cycle (2 ϕ)
1	Yard	11	25.21	16	13.86
2	MG Panel I (Unindo Bus)	11	24.48	15.66	13.56
3	Kirloskar Panel (MR-1)	11	22.4	14.73	12.76
4	Line A Bawah (Line A-2)	11	20.91	14.01	12.13
5	94	0.43	64.26	61	52.83

Tabel 4.3 Data hubung singkat bus pada tipikal 3.

No	BUS ID	Tegangan (kV)	Isc max (kA)	Isc min (kA)	
			4 cycle (3 ϕ)	30 cycle (3 ϕ)	30 cycle (2 ϕ)
1	Schneider (Bharat Bijlee)	11	23.17	14.94	12.93
2	Sie Pan (Dust Collector)	11	23.17	14.94	12.93

4.4 Analisa Tipikal 1

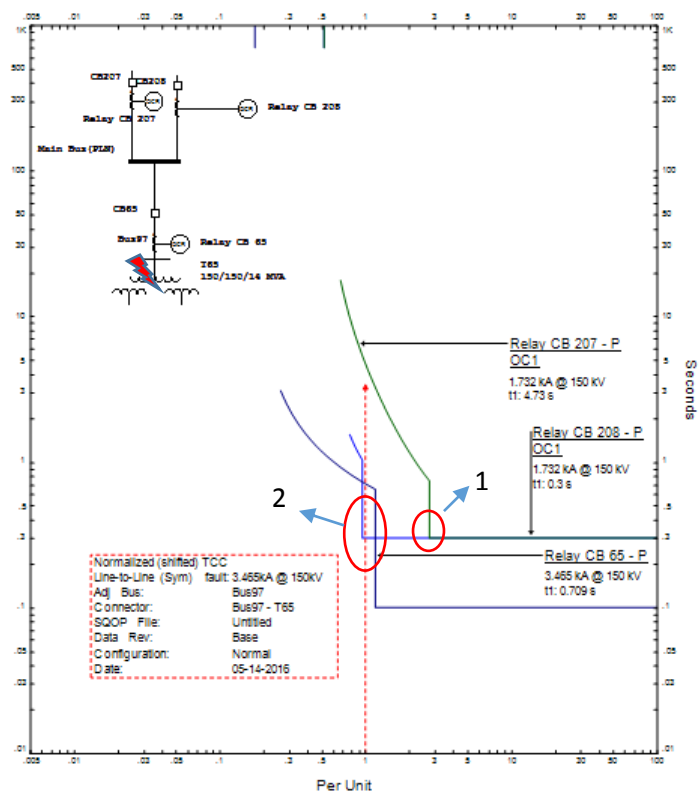
Pada tipikal 1 ini akan dilakukan analisa mengenai sistem proteksi dan *arc flash*. Tipikal 1 ini terletak pada beban *arc furnace* sampai ke sumber PLN 150 kV, lebih jelasnya bisa ditunjukkan gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Koordinasi rele tipikal 1

4.4.1 Analisa Koordinasi Proteksi Pada Tipikal 1

Pada koordinasi tipikal 1 terdapat beberapa koordinasi rele pengaman yang masih harus disempurnakan. Dari hasil simulasi jika terjadi gangguan antara di beban *arc furnace* sampai ke bagian sekunder trafo yang bertegangan 33 kv, koordinasi bekerja normal dan berurutan mulai dari relay cb 56 sampai ke cb 207 dengan selisih waktu 0.2 detik. Tetapi jika terjadi gangguan di sisi primer trafo 150 kV akan terjadi kesalahan koordinasi, hal ini dapat dilihat pada kurva arus waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kurva koordinasi arus waktu *existing* tipikal 1 mulai dari sisi primer trafo TR65 sampai ke sumber PLN.

Berikut adalah keterangan lingkaran merah pada gambar 4.2:

1. Nilai setting instan pada rele 208 dan 207 tidak sama, dimana rele cb 208 jauh lebih kecil dari rele cb 207 bahkan lebih kecil juga dengan rele cb 65. Harusnya nilai seting rele cb 208 dan 207 harus sama karena terletak pada level yang sama.
2. Nilai seting rele cb 208 lebih kecil dari rele cb 65, sehingga cb 208 akan trip dulu jika ada gangguan. Hal ini mengakibatkan kesalahan sistem koordinasi yang mana harusnya cb 65 terlebih dahulu baru cb 208 dan 207. Selain itu pada cb 65 terdapat kesalahan seting yaitu nilai seting *instananeous* nya berada diatas nilai arus

gangguan.hal ini mengakibatkan waktu trip nya lama dan sistem proteksi menjadi tidak handal.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

❖ Rele 65

Manufacturer	= Asea Brown Boveri (ABB)
Device Type	= ABB RACID
Curve Type	= SIT
CT Ratio	= 500/5
Isc max 4 cycle Bus ABB Panel (33 kV)	= 12.42 kA
Konversi ke tegangan 150 kV	$= \frac{12.42}{150} \times 33$
	= 2.73 kA
Isc min 30 cycle main bus (pembangkitan max)	= 3.81 kA
FLA trafo T65 sisi primer	= 577.4 A

Overcurrent Pickup (I >)

$$\frac{1.05 \times \text{FLA trafo T65}}{\text{CT ratio}} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc Min main bus}}{\text{CT ratio}} \text{ A}$$

$$\frac{1.05 \times 577.4}{500/5} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times 3.81 \text{ kA}}{500/5} \text{ A}$$

$$6.06 \text{ A} \leq \text{Iset} \leq 30.48 \text{ A}$$

Dengan memperhatikan plot kurva pada ETAP star.

Dipilih Tap current setting = 6.06 A

Setting aktual Iset = 6.06 x 500/5 = 606 A

Time Setting IDMT (Time Dial)

Rele CB 65 merupakan rele digital maka menggunakan $\Delta t = 0.2$ sekon, karena rele CB 65 berfungsi sebagai back up dari rele CB 66 dan melewati trafo maka waktu operasi menggunakan: Waktu yang diinginkan, $t_d = 0,1+0,2= 0.3$ sekon

D = time dial

Iset = 605 A

Maka di masuk-kan dalam perhitungan rumus time dial rele *invers* berdasarkan British Standard (BS 142) sesuai type rele.

$$td = \frac{0.14 \times D}{\left\{ \left(\frac{If}{Iset} \right)^{0.02} - 1 \right\} \times 2.97}$$

$$D = \frac{td \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{Isc \text{ max 4 cycle bus ABB panel}}{Iset} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = \frac{0.3 \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{2730}{606} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = 0.19$$

Maka time dial = 0.19

Current setting High Set (I>>)

$$\frac{Isc \text{ Max bus ABB panel}(150kV)}{CT \text{ ratio}} A \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times Isc \text{ Min main bus}}{CT \text{ ratio}} A$$

$$\frac{2730}{500/5} A \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 3810}{500/5} A$$

$$27.3 A \leq I_{\gg} \leq 30.48 A$$

Dipilih $I_{\gg} = 29 A$

Nilai aktual $I_{\gg} = 29 \times 500/5 = 2900 A$

Time Delay

Time delay dipilih 0.1 s

❖ Rele CB 207 & 208

Manufacturer	= Asea Brown Boveri (ABB)
Device Type	= ABB REF 543
Curve Type	= IEEE Very Inverse
CT Ratio	= 600/5

Isc min 30 cycle main bus

(pembangkitan min) = 1.91 kA

FLA main bus = 577.4 + 307.9 = 885.3 A

Arus full load yang akan diamankan oleh rele CB 207 & 208 adalah arus full load pada Main Bus.

Overcurrent Pickup (I >)

$$\frac{1.05 \times \text{FLA main bus}}{\text{CT ratio}} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc Min main bus}}{\text{CT ratio}} \text{ A}$$

$$\frac{1.05 \times 885.3}{600/5} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times 1.91 \text{ kA}}{600/5} \text{ A}$$

$$7.75 \text{ A} \leq \text{Iset} \leq 12.7 \text{ A}$$

Dengan memperhatikan plot kurva pada ETAP star.

Dipilih Tap current setting = 7.75 A

Setting aktual Iset = 7.75 x 600/5 = 930 A

Time Setting IDMT (Time Dial)

Rele CB 207 & 208 sebagai *back up* rele CB 65. Waktu yang diinginkan, $t_d = 0,3 + 0,2 = 0.5$ sekon

D = time dial

Iset = 930 A

Maka di masuk-kan dalam perhitungan rumus time dial rele *invers* berdasarkan British Standard (BS 142) sesuai type rele.

$$t_d = \frac{13.5 \times D}{\left\{ \left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right\} \times 1.50}$$

$$D = \frac{t_d \times 1.50 \times \left\{ \left(\frac{\text{Isc max 4 cycle bus ABB panel}}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right\}}{13.5}$$

$$D = \frac{0.5 \times 1.50 \times \left\{ \left(\frac{2730}{930} \right)^1 - 1 \right\}}{13.5}$$

$$D = 0.11$$

Maka time dial = 0.11

Instantaneous Pickup

$$I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ Min main bus}}{600/5} \text{ A}$$

$$I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 1910}{600/5} \text{ A}$$

$$I_{\gg} \leq 12.7 \text{ A}$$

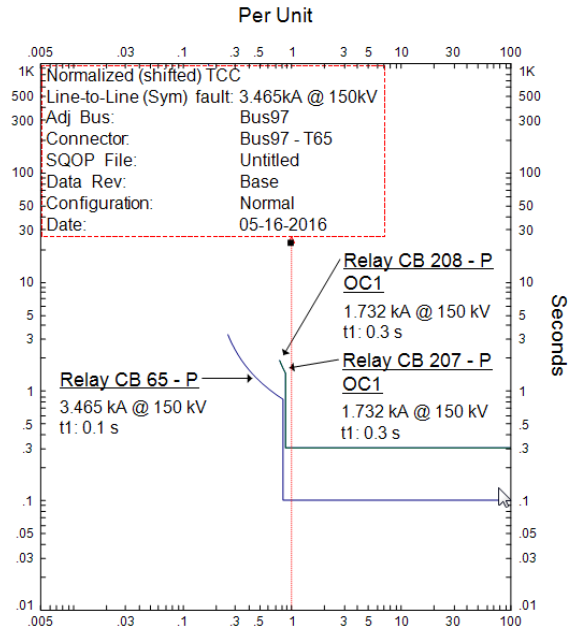
Dipilih Tap 12.5 A

Nilai aktual $I_{\gg} = 12.5 \times 600/5 = 1500 \text{ A}$

Time Delay

$Time \text{ delay} = 0.3 \text{ s}$

Dari hasil perhitungan reseting rele tersebut bisa didapat hasil kurva reseting sebagai berikut:



Gambar 4.3 Kurva koordinasi arus waktu *resetting* tipikal 1 mulai dari sisi primer trafo TR65 sampai ke sumber PLN.

Dari gambar diatas dapat kita lihat bahwa saat terjadi gangguan di sisi primer trafo maka rele CB 65 akan kerja terlebih dahulu dengan waktu 0.1 sekon dan diikuti oleh rele cb 207 dan 208 yang merupakan *back up* dari rele CB65 dengan selisih waktu 0.2 sekon. Selisih waktu ini sesuai dengan standart proteksi, sehingga akan menjamin kehandalan sistem proteksi. Nilai seting dari rele CB 207 & 208 sama karena 2 rele ini terletak dalam level yang sama.

4.4.2 Analisa Arc Flash Pada Tipikal 1

Dengan dilakukannya simulasi menggunakan software ETAP maka didapatkan nilai *incident energy arc flash* dan *category incident* yang terjadi yang akan disesuaikan dengan Personal Protective Equipment (PPE) sesuai dengan standart NFPA 70E-2009. Tabel 4.4 ini menunjukan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 1.

Tabel 4.4 Hasil simulasi *incident energy arc flash* software ETAP pada sistem eksisting tipikal 1.

ID	Ia (kA)	Incident Energy (cal/cm ²)	Hazard Risk Category	Flash Protection Boundary(m)
Main Bus	4.08	463.17	>4	24
97	4.08	33.75	4	6.48
ABB Panel	12,69	149.59	>4	10.23
Near Furnace	12.69	98.27	>4	8.29

Data yang hampir sama juga ditunjukkan pada sistem *resetting*, dimana hasil simulasi *incident energy arc flash* didapatkan setelah dilakukan koordinasi pengaman yang tepat serta pemasangan rele diferensial pada beberapa bus.. Tabel 4.5 akan menunjukkan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 1.

Tabel 4.5 Hasil simulasi *incident energy arc flash* software ETAP pada sistem reseting tipikal 1.

ID	Ia (kA)	Incident Energy (cal/cm ²)	Hazard Risk Category	Flash Protection Boundary(m)
Main Bus	4.08	14.76	3	4.28
97	4.08	33.75	4	6.48
ABB Panel	12,69	23.86	3	4.09
Near Furnace	12.69	23.86	3	4.09

Setelah melakukan simulasi dengan software ETAP maka dilakukan perhitungan manual sesuai dengan standart IEEE 1584-2002 guna mencocokkan hasil simulasi dengan perhitungan secara manual. Pada sub bab ini dilakukan perhitungan manual terhadap sistem *resetting* setelah dilakukan koordinasi pengamannya pada masing-masing tipikal ID Bus.

❖ **Main Bus**

$$\begin{aligned} I_{bf} &= I_a = 4.08 \text{ kA} & D &= 121.92 \text{ cm} = 48 \text{ inch} \\ FCT &= 0,07 \text{ s} \end{aligned}$$

Berdasarkan data tersebut dan standart NFPA-70E – May 2003 ROP dalam *Annex B method*, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash* [7]

$$E = 793 \times D^{-2} \times V \times I_{bf} \times t$$

Dimana,

E = insiden energy (cal/cm²)

D = *working distance* (inch)

V = tegangan (kV)

I_{bf} = *bolted fault current* (kA)

T = *arcing time (second)*

$$\begin{aligned} E &= 793 \times (48)^{-2} \times 150 \times 4.08 \times 0.07 \\ &= 14.74 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary* [14]

Dengan menggunakan *Lee Method*, maka

$$\begin{aligned} D_B &= \sqrt{2.142 \times 10^6 \times V \times I_{bf} \left(\frac{t}{Eb} \right)} \text{ mm} \\ &= \sqrt{2.142 \times 10^6 \times 150 \times 4.08 \left(\frac{0.07}{5} \right)} \text{ mm} \\ &= 4284 \text{ mm} \\ &= 4.28 \text{ m} \end{aligned}$$

❖ **Bus 97**

$$I_{bf} = I_a = 4.08 \text{ kA} \quad D = 121.92 \text{ cm} = 48 \text{ inch}$$

$$FCT = 0.16 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut dan standart NFPA-70E – May 2003 ROP dalam *Annex B method*, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash* [7]

$$E = 793 \times D^{-2} \times V \times I_{bf} \times t$$

Dimana,

E = insiden energy (cal/cm²)

D = *working distance* (inch)

V = tegangan (kV)

I_{bf} = *bolted fault current* (kA)

$$\begin{aligned}
T &= \text{arcing time (second)} \\
E &= 793 \times (48)^{-2} \times 150 \times 4.08 \times 0.16 \\
&= 33.702 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary* [14]

Dengan menggunakan *Lee Method*, maka

$$\begin{aligned}
D_B &= \sqrt{2.142 \times 10^6 \times V \times I_{bf} \left(\frac{t}{E_b} \right)} \text{ mm} \\
&= \sqrt{2.142 \times 10^6 \times 150 \times 4.08 \left(\frac{0.07}{5} \right)} \text{ mm} \\
&= 6476.78 \text{ mm} \\
&= 6.477 \text{ m}
\end{aligned}$$

❖ **ABB Panel**

$$I_{bf} = I_a = 12.69 \text{ kA} \quad D = 91.44 \text{ cm} = 36 \text{ inch}$$

$$FCT = 0.093 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut dan standart NFPA-70E – May 2003 ROP dalam *Annex B method*, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash* [7]

$$E = 793 \times D^{-2} \times V \times I_{bf} \times t$$

Dimana,

$$E = \text{insiden energy (cal/cm}^2\text{)}$$

$$D = \text{working distance (inch)}$$

$$V = \text{tegangan (kV)}$$

$$I_{bf} = \text{bolted fault current (kA)}$$

$$T = \text{arcing time (second)}$$

$$\begin{aligned}
E &= 793 \times (36)^{-2} \times 33 \times 12.69 \times 0.093 \\
&= 23.83 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary* [14]

Dengan menggunakan *Lee Method*, maka

$$D_B = \sqrt{2.142 \times 10^6 \times V \times I_{bf} \left(\frac{t}{E_b} \right)} \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{2.142 \times 10^6 \times 33 \times 12.69 \left(\frac{0.093}{5}\right)} \text{ mm} \\
&= 4082.7 \text{ mm} \\
&= 4.082 \text{ m}
\end{aligned}$$

❖ **Near Furnace**

$$I_{bf} = I_a = 12.69 \text{ kA} \quad D = 91.44 \text{ cm} = 36 \text{ inch}$$

$$FCT = 0.093 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut dan standart NFPA-70E – May 2003 ROP dalam *Annex B method*, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash* [7]

$$E = 793 \times D^{-2} \times V \times I_{bf} \times t$$

Dimana,

$$E = \text{insiden energy (cal/cm}^2\text{)}$$

$$D = \text{working distance (inch)}$$

$$V = \text{tegangan (kV)}$$

$$I_{bf} = \text{bolted fault current (kA)}$$

$$T = \text{arcing time (second)}$$

$$\begin{aligned}
E &= 793 \times (36)^{-2} \times 33 \times 12.69 \times 0.093 \\
&= 23.83 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

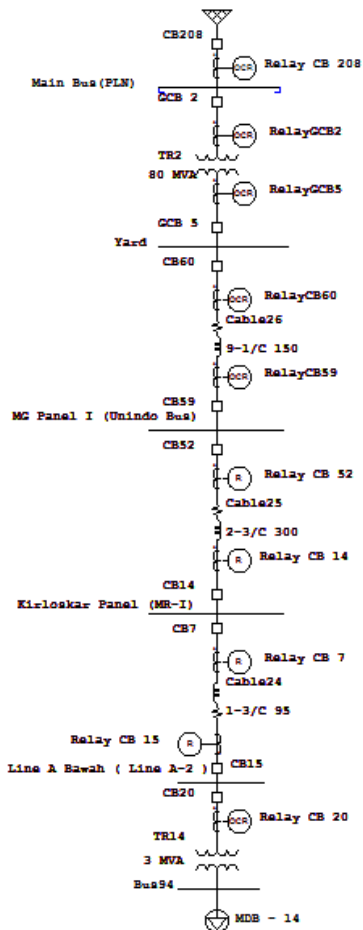
Mencari besar *flash protection boundary* [14]

Dengan menggunakan *Lee Method*, maka

$$\begin{aligned}
D_B &= \sqrt{2.142 \times 10^6 \times V \times I_{bf} \left(\frac{t}{E_b}\right)} \text{ mm} \\
&= \sqrt{2.142 \times 10^6 \times 33 \times 12.69 \left(\frac{0.093}{5}\right)} \text{ mm} \\
&= 4082.7 \text{ mm} \\
&= 4.082 \text{ m}
\end{aligned}$$

4.5 Analisa Tipikal 2

Pada tipikal 2 ini akan dilakukan analisa mengenai sistem proteksi dan *arc flash*. Tipikal 2 ini terletak pada beban MDB-14 dengan tegangan 0.433 kV sampai ke sumber PLN 150 kV, lebih jelasnya bisa ditunjukkan gambar 4.4 berikut ini.

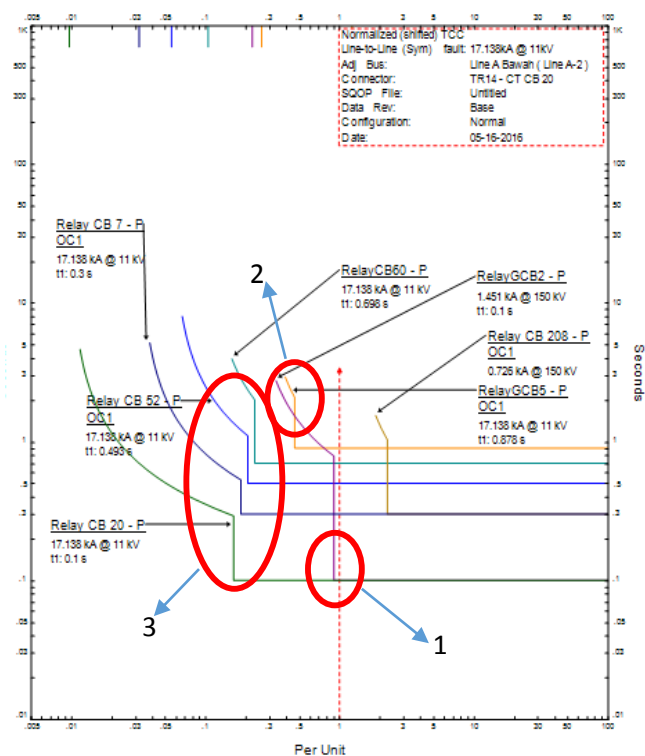


Gambar 4.4 Koordinasi rele tipikal 2

4.5.1 Analisa Koordinasi Proteksi Pada Tipikal 2

Pada koordinasi tipikal 2 terdapat beberapa koordinasi rele pengaman yang masih harus disempurnakan. Dini simulasi gangguan diletak di sisi primer trafo TR 14 yaitu pada tegangan 11 kV. Jika simulasi di letakkan di sisi sekunder trafo atau di bagian tegangan 0.433 kV maka arus gangguan yang dirasakan di sisi tegangan menengah tidak begitu

besar dan arus gangguan hanya terdeteksi sampai CB 60 saja, hal ini menyebabkan kita tidak bisa melakukan analisa sistem proteksi sampai ke tegangan 150 KV. Dari hasil simulasi jika terjadi gangguan di sisi primer trafo TR 14 terjadi kesalahan kerja pada rele dan beberapa rele tidak bekerja sesuai jeda waktu 0.2 detik. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Kurva koordinasi arus waktu *existing* tipikal 2

Berikut adalah keterangan lingkaran merah pada gambar 4.5:

1. Nilai setting instan pada rele GCB2 terlalu kecil sehingga pada saat ada gangguan di sisi primer trafo TR 14, sehingga CB GCB 2 bekerja bersamaan dengan CB 20 yang mengakibatkan semua beban di trafo TR 2 80 MVA terjadi black out.
2. Kurva *invers* dari rele GCB 5 berada diatas kuva *invers* rele GCB 2, padahal rele GCB 2 adalah *back up* dari rele GCB 5.

3. Pada lingkaran 3 ini rele sebenarnya sudah bekerja berurutan, tetapi ada beberapa rele selisih bekerjanya kurang dari 0.2 detik.

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Selain itu ada juga pemasangan MCB tegangan rendah pada *incoming* bus 94 yang berfungsi untuk mengurangi nilai *arc flash* dan melindungi trafo TR 14. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

❖ **LVCB 256**

Manufacturer	: ABB
Model	: E1N-a(2005)
FLA <i>Lump load</i>	: 1000 A
Lock Rotor Current (LRC)	: 6000 A
Isc Min bus 94	: 52.83 kA (0.48 kV)
Sensor	: 1200
Rating Plug	: 1200

Long Time Pick Up

$$1.05 \times \text{FLA Lump load} \leq \text{Iset} \leq 0.8 \times \text{Isc min bus 94}$$

$$1.05 \times 1000 \leq \text{Iset} \leq 0.8 \times 52830$$

$$1050 \leq \text{Iset} \leq 42264$$

Dipilih Iset = 1140 A

$$\text{LT Pick Up} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{1140}{1200} = 9.5$$

Dipilih LT Band = 3

Short Time Pick Up

$$\text{LRC} < \text{Iset} < 0.8 \times \text{Isc Min}$$

$$6000 < \text{Iset} < 0.8 \times 52830$$

$$6000 < \text{Iset} < 42264$$

Dipilih Iset = 7200 A

$$\text{ST Pick Up} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{7200}{1200} = 6$$

Short Time Band

Dipilih STBand (time delay) = 0.1s

❖ **Rele CB 20**

Manufacturer = Schneider Electric
Device Type = Merlin Gerlin SEPAM 1000
Curve Type = SIT
CT Ratio = 200/5
Isc max 4 cycle Bus 94 = 64.26 kA
Konversi ke tegangan 11 kV $= \frac{64.23}{11} \times 0.433$
 $= 2.53 \text{ kA}$
Isc min 30 cycle bus Line A bawah
(pembangkitan min) = 12.13 kA
FLA trafo TR 14 sisi primer (11kV) = 157.5 A

Overcurrent Pickup (I >)

$$\frac{1.05 \times \text{FLA trafo TR 14}}{\text{CT ratio}} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc Min bus Line A bawah}}{\text{CT ratio}} \text{ A}$$
$$\frac{1.05 \times 157.5}{200/5} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times 12.13 \text{ kA}}{200/5} \text{ A}$$
$$4.13 \text{ A} \leq \text{Iset} \leq 242.6 \text{ A}$$

Dengan memperhatikan plot kurva pada ETAP star.

Dipilih Tap current setting = 4.15 A

Setting aktual Iset = 4.15 x 200/5 = 166 A

Time Setting IDMT (Time Dial)

Td (waktu yang diinginkan) = 0.1 sekon

D = time dial

Iset = 166 A

Maka di masuk-kan dalam perhitungan rumus time dial rele *invers* berdasarkan British Standard (BS 142) sesuai type rele.

$$td = \frac{0.14 \times D}{\left\{ \left(\frac{If}{Iset} \right)^{0.02} - 1 \right\} \times 2.97}$$

$$D = \frac{td \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{I_{sc} \text{ max 4 cycle bus 94}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = \frac{0.1 \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{2530}{166} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = 0.19$$

Maka time dial = 0.2

Current setting High Set ($I_{>>}$)

$$\frac{I_{sc} \text{ Max bus 94}}{CT \text{ ratio}} A \leq I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ Min bus Line A bawah}}{CT \text{ ratio}} A$$

$$\frac{2530}{200/5} A \leq I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 12130}{200/5} A$$

$$63.25 A \leq I_{>>} \leq 242.6 A$$

Dipilih $I_{>>} = 64.5 A$

Nilai aktual $I_{>>} = 64.5 \times 500/5 = 2580 A$

Time Delay

Time delay dipilih 0.1 s

❖ **Rele CB 7**

Manufacturer	= Schneider Electric
Device Type	= Merlin Gerlin SEPAM 80
Curve Type	= SIT
CT Ratio	= 1000/5
Isc max 4 cycle Bus Line A bawah	= 14.01 kA
Isc min 30 cycle bus Line A bawah	
(pembangkitan min)	= 12.13 kA
FLA	= FLA TR 14 + FLA TR 15 + FLA TR 16
	= (2 x 157.5) + 131.2
	= 446.2 A

Overcurrent Pickup (I >)

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{\text{CT ratio}} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc Min bus Line A bawah}}{\text{CT ratio}} \text{ A}$$
$$\frac{1.05 \times 446.2}{1000/5} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times 12.13 \text{ kA}}{1000/5} \text{ A}$$
$$2.2 \text{ A} \leq \text{Iset} \leq 48.52 \text{ A}$$

Dengan memperhatikan plot kurva pada ETAP star.

Dipilih Tap current setting = 3 A

Setting aktual Iset = 3 x 1000/5 = 600 A

Time Setting IDMT (Time Dial)

Td (waktu yang diinginkan) = 0.1+0.2 = 0.3 sekon

D = time dial

Iset = 550 A

Maka di masuk-kan dalam perhitungan rumus time dial rele *invers* berdasarkan British Standard (BS 142) sesuai type rele.

$$td = \frac{0.14 \times D}{\left\{ \left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\} \times 2.97}$$
$$D = \frac{td \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{\text{Isc max 4 cycle bus line A bawah}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = \frac{0.3 \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{12130}{600} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

D = 0.39

Maka time dial = 0.39

Current setting High Set (I>>)

$$I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc Min bus Line A bawah}}{\text{CT ratio}}$$

$$I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 12130}{1000/5} \text{ A}$$

$$I_{\gg} \leq 48.52 \text{ A}$$

Dipilih $I_{\gg} = 13.75 \text{ A}$

Nilai aktual $I_{\gg} = 13.75 \times 1000/5 = 2750 \text{ A}$

Time Delay

Time delay dipilih 0.3 s

❖ **Rele CB 52**

Manufacturer	= Schneider Electric
Device Type	= Merlin Gerlin SEPAM 80
Curve Type	= Standart Inverse
CT Ratio	= 1000/5
Isc max 4 cycle Bus Kirloskar	= 22.4 kA
Isc min 30 cycle bus Kirloskar (pembangkitan min)	= 12.76 kA
FLA	= 446.2 + TR 17 + TR 18 + TR 19 + FLA Mtr 1
	= 446.2 + (2 x 104.9) + 183.7 + 51.16
	= 890.86 A

Overcurrent Pickup (I >)

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{\text{CT ratio}} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc Min bus kirloskar}}{\text{CT ratio}} \text{ A}$$

$$\frac{1.05 \times 890.86}{1000/5} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times 12.76 \text{ kA}}{1000/5} \text{ A}$$

$$4.68 \text{ A} \leq \text{Iset} \leq 51.04 \text{ A}$$

Dengan memperhatikan plot kurva pada ETAP.

Dipilih Tap current setting = 4.8 A

Setting aktual Iset = 4.8 x 1000/5 = 960 A

Time Setting IDMT (Time Dial)

Td (waktu yang diinginkan) = 0.3+0.2 = 0.5 sekon

D = time dial

Iset = 960 A

Maka di masuk-kan dalam perhitungan rumus time dial rele *invers* berdasarkan British Standard (BS 142) sesuai type rele.

$$td = \frac{0.14 \times D}{\left\{ \left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\} \times 2.97}$$

$$D = \frac{td \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{I_{sc \text{ max 4 cycle bus kirloskar}}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = \frac{0.5 \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{22400}{960} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = 0.68$$

Maka time dial = 0.68

Current setting High Set ($I_{>>}$)

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ Min bus Kirloskar}}}{CT \text{ ratio}}$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 12760}{1000/5} \text{ A}$$

$$I_{>>} \leq 25.52 \text{ A}$$

Dipilih $I_{>>} = 16 \text{ A}$

Nilai aktual $I_{>>} = 15 \times 1000/5 = 3200 \text{ A}$

Time Delay

Time delay dipilih 0.5 s

❖ Rele CB 60

Manufacturer

= Ases Brown Boveri (ABB)

Device Type

= ABB SPAJ 140C

Curve Type

= Standart Inverse

CT Ratio

= 2000/5

$$\begin{aligned}
 I_{sc} \text{ max 4 cycle Bus MG Panel I} &= 24.48 \text{ kA} \\
 I_{sc} \text{ min 30 cycle bus MG Panel I} &= 13.56 \text{ kA} \\
 \text{(pembangkitan min)} & \\
 FLA &= 890.86 + TR \ 8 + TR \ 9 + TR \ 10 + TR \ 12 + TR \ 20 + \\
 &\quad TR \ 21 + TR \ 22 + TR \ 23 \\
 &= 890.86 + (4 \times 157.5) + (3 \times 183.7) + 262.4 \\
 &= 2334.36 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Overcurrent Pickup ($I >$)

$$\begin{aligned}
 \frac{1.05 \times FLA}{CT \ ratio} \text{ A} \leq I_{set} &\leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ Min bus MG Panel I}}{CT \ ratio} \text{ A} \\
 \frac{1.05 \times 2334.36}{2000/5} \text{ A} \leq I_{set} &\leq \frac{0.8 \times 13.56 \text{ kA}}{2000/5} \text{ A} \\
 6.12 \text{ A} \leq I_{set} &\leq 27.12 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dengan memperhatikan plot kurva pada ETAP star.

Dipilih Tap current setting = 6.15 A

Setting aktual $I_{set} = 6.15 \times 2000/5 = 2460 \text{ A}$

Time Setting IDMT (Time Dial)

T_d (waktu yang diinginkan) = $0.5 + 0.2 = 0.7$ sekon

D = time dial

$I_{set} = 2460 \text{ A}$

Maka di masuk-kan dalam perhitungan rumus time dial rele *invers* berdasarkan British Standard (BS 142) sesuai type rele.

$$\begin{aligned}
 td &= \frac{0.14 \times D}{\left\{ \left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\} \times 2.97} \\
 td \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{I_{sc} \text{ max 4 cycle bus MG Panel I}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\} & \\
 D &= \frac{\hspace{10em}}{0.14} \\
 D &= \frac{0.7 \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{24480}{2460} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}
 \end{aligned}$$

$D = 0.68$

Maka time dial = 0.68

Current setting High Set ($I_{>>}$)

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ Min bus MG Panel I}}{CT \text{ ratio}}$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 13560}{2000/5} \text{ A}$$

$$I_{>>} \leq 27.12 \text{ A}$$

Dipilih $I_{>>} = 10 \text{ A}$

Nilai aktual $I_{>>} = 10 \times 2000/5 = 4000 \text{ A}$

Time Delay

Time delay dipilih 0.5 s

❖ Rele CB GCB5

Manufacturer	= Ases Brown Boveri (ABB)
Device Type	= ABB REF 543
Curve Type	= Standart Inverse
CT Ratio	= 3000/5
Isc max 4 cycle Bus Yard	= 25.21 kA
Isc min 30 cycle bus Yard (pembangkitan min)	= 13.86 kA
FLA sekunder Trafo TR 2	= 4199 A

Overcurrent Pickup ($I >$)

$$\frac{1.05 \times FLA}{CT \text{ ratio}} \text{ A} \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ Min bus Yard}}{CT \text{ ratio}} \text{ A}$$

$$\frac{1.05 \times 4199}{3000/5} \text{ A} \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 13.86 \text{ kA}}{3000/5} \text{ A}$$

$$7.35 \text{ A} \leq I_{set} \leq 18.48 \text{ A}$$

Dengan memperhatikan plot kurva pada ETAP star.

Dipilih Tap current setting = 7.5 A

Setting aktual $I_{set} = 7.5 \times 3000/5 = 4500 \text{ A}$

Time Setting IDMT (Time Dial)

T_d (waktu yang diinginkan) = $0.7 + 0.2 = 0.9$ sekon

D = time dial

Iset = 4500 A

Maka di masuk-kan dalam perhitungan rumus time dial rele *invers* berdasarkan British Standard (BS 142) sesuai type rele.

$$td = \frac{0.14 \times D}{\left\{ \left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\} \times 2.97}$$

$$D = \frac{td \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{I_{sc \max 4 \text{ cycle bus Yard}}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = \frac{0.9 \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{25210}{4500} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

D = 0.67

Maka time dial = 0.67

Current setting High Set ($I_{>>}$)

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ Min bus Yard}}}{CT \text{ ratio}}$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 13860}{3000/5} \text{ A}$$

$$I_{>>} \leq 18.48 \text{ A}$$

Dipilih $I_{>>} = 13.75 \text{ A}$

Nilai aktual $I_{>>} = 13.75 \times 3000/5 = 8250 \text{ A}$

Time Delay

Time delay dipilih 0.9 s

❖ Rele CB GCB 2

Manufacturer

= Ases Brown Boveri (ABB)

Device Type	= ABB RACID
Curve Type	= Standart Inverse
CT Ratio	= 250/5
Isc max 4 cycle Bus Yard	= 25.24 kA
Konversi ke tegangan 150 kV	$= \frac{25.24}{150} \times 11$ $= 1.85 \text{ kA}$
Isc min 30 cycle main bus (pembangkitan max)	$= 3.81 \text{ kA} \times 0.866 = 3.29 \text{ kA}$
FLA trafo TR2 sisi primer	= 307.9 A

Overcurrent Pickup (I >)

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{\text{CT ratio}} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc Min main bus}}{\text{CT ratio}} \text{ A}$$

$$\frac{1.05 \times 307.9}{250/5} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times 3.29 \text{ kA}}{250/5} \text{ A}$$

$$6.47 \text{ A} \leq \text{Iset} \leq 52.64 \text{ A}$$

Dengan memperhatikan plot kurva pada ETAP star.

Dipilih Tap current setting = 12.5 A

Setting aktual Iset = 12.5 x 250/5 = 625 A

Time Setting IDMT (Time Dial)

Karena rele GCB 2 berfungsi sebagai back up dari rele GCB 5 dan melewati trafo maka waktu operasi menggunakan: Waktu yang diinginkan, $t_d = 0.9 + 0.2 = 1.1$ sekon

D = time dial

Iset = 625 A

Maka di masuk-kan dalam perhitungan rumus time dial rele *invers* berdasarkan British Standard (BS 142) sesuai type rele.

$$t_d = \frac{0.14 \times D}{\left\{ \left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\} \times 2.97}$$

$$D = \frac{t_d \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{\text{Isc max 4 cycle main bus}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = \frac{1.1 \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{1850}{625} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = 0.51$$

Maka time dial = 0.51

Current setting High Set ($I_{>>}$)

$$\frac{I_{sc} \text{ Max bus Yardl}(150kV)}{CT \text{ ratio}} A \leq I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ Min main bus}}{CT \text{ ratio}} A$$

$$\frac{1850}{250/5} A \leq I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 3290}{250/5} A$$

$$37 A \leq I_{>>} \leq 52.64 A$$

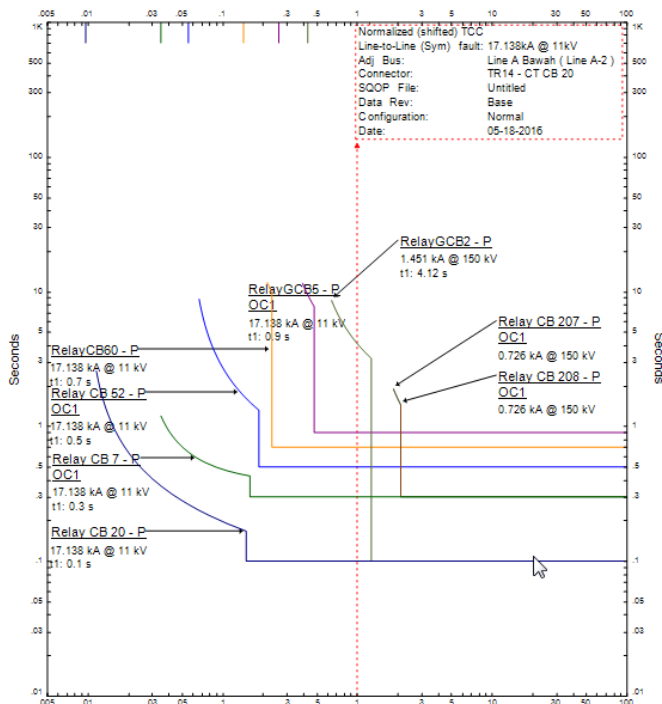
Dipilih $I_{>>} = 37 A$

Nilai aktual $I_{>>} = 37 \times 250/5 = 1850 A$

Time Delay

Time delay dipilih 0.1 s

Dari hasil perhitungan resetting rele tersebut bisa didapat hasil kurva resetting sebagai berikut:



Gambar 4.6 Kurva koordinasi arus waktu *resetting* tipikal 2 mulai dari sisi primer trafo TR 14 sampai ke sumber PLN.

Dari hasil kurva resetting pada gambar 4.3 diatas bisa kita lihat kurva rele GCB 2 sudah terletak di sebelah kanan kurva rele GCB 5 dan kurva gangguan, artinya rele tersebut tidak mendeteksi gangguan tersebut secara instan dan waktu *trip* nya tidak akan mendahului rele GCB 5. Untuk koordinasi rele yang lainnya suda bekerja secara normal dan berurutan dengan selisih waktu 0.2 detik.

4.5.2 Analisa Arc Flash Pada Tipikal 2

Dengan dilakukannya simulasi menggunakan software ETAP maka didapatkan nilai *incident energy arc flash* dan *category incident* yang terjadi yang akan disesuaikan dengan Personal Protective Equipment (PPE) sesuai dengan standart NFPA 70E-2009.

Tabel 4.6 Hasil simulasi *incident energy arc flash* software ETAP pada sistem eksisting tipikal 2.

ID	Ia (kA)	Incident Energy (cal/cm ²)	Hazard Risk Category	Flash Protection Boundary(m)
Yard	26.19	5.826	2	4.637
MG Panel I (Unindo Bus)	25.42	5.643	2	4.488
Kirloskar Panel (MR-1)	23.19	5.110	2	4.053
Line A Bawah (Line A-2)	21.57	10.924	3	8.849
Bus 94	39.69	68.95	>4	3.46

Dari data table 4.6 diatas kita dapatkan nilai *arc flash* yang kecil dan sesuai dengan standart, etapi nilai tersebut didapat dari kesalahan sistem koordinasi proteksi. Sumber *arc flash* ini berasal dari CB GCB 2 yang bekerja terlebih dahulu pada saat ada gangguan. Setelah dilakukan *resetting* maka sistem proteksi kembali normal dan nilai *arc flash* akan lebih besar dari nilai eksisting. Tabel 4.7 akan menunjukkan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 2.

Tabel 4.7 Hasil simulasi *incident energy arc flash* software ETAP pada sistem reseting tipikal 2.

ID	Ia (kA)	Incident Energy (cal/cm ²)	Hazard Risk Category	Flash Protection Boundary(m)
Yard	26.14	3.772	1	2.967
MG Panel I (Unindo Bus)	25.38	35.17	4	29.42
Kirloskar Panel (MR-1)	23.15	23.57	3	19.50
Line A Bawah (Line A-2)	21.54	14.15	3	11.54
Bus 94	27.67	6.97	2	1.469

Setelah melakukan simulasi dengan software ETAP maka dilakukan perhitungan manual sesuai dengan standart IEEE 1584-2002 guna mencocokkan hasil simulasi dengan perhitungan secara manual. Pada sub

bab ini dilakukan perhitungan manual terhadap sistem *resetting* setelah dilakukan koordinasi pengamannya pada masing-masing tipikal ID Bus.

❖ **Bus YARD**

$$I_{bf} = 27.4 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.08 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned} I_a &= 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} & E_n &= I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)} \\ &= 1,01 \cdot (27.4)^{0,983} & &= (26.16)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 0,0011 \cdot 153)} \\ &= 26.16 \text{ kA} & &= 13.98 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\ &= 1 \cdot 13.98 \cdot \left(\frac{0.08}{0,2}\right) \left(\frac{610}{914,4}\right)^{0,973} \\ &= 3.771 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned} D_B &= \left[4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}} \\ &= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 13.98 \cdot \left(\frac{0.08}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0,973}} \\ &= 2979.3 \text{ mm} \\ &= 2.979 \text{ m} \end{aligned}$$

❖ **MG Panel I (Unindo bus)**

$$I_{bf} = 26.59 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.77 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned} I_a &= 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} & E_n &= I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)} \\ &= 1,01 \cdot (26.59)^{0,983} & &= (25.39)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 0,0011 \cdot 153)} \\ &= 25.39 \text{ kA} & &= 13.55 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E &= Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\
&= 1 \cdot 11.16 \cdot \left(\frac{0.77}{0,2}\right) \left(\frac{610}{914,4}\right)^{0,973} \\
&= 35.18 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned}
D_B &= \left[4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
&= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 13.55 \cdot \left(\frac{0.77}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0,973}} \\
&= 29570. \text{ mm} \\
&= 29.57 \text{ m}
\end{aligned}$$

❖ **Kirloskar Panel**

$$I_{bf} = 24.22 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.57 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned}
I_a &= 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} & E_n &= I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)} \\
&= 1,01 \cdot (24.22)^{0,983} & &= (23.17)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 0,0011 \cdot 153)} \\
&= 23.17 \text{ kA} & &= 12.27 \text{ J/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E &= Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\
&= 1 \cdot 12.27 \cdot \left(\frac{0.57}{0,2}\right) \left(\frac{610}{914,4}\right)^{0,973} \\
&= 23.58 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$D_B = \left[4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 12.27 \cdot \left(\frac{0.57}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$= 19603.3. \text{ mm}$$

$$= 19.603 \text{ m}$$

❖ **Line A bawah**

$$I_{bf} = 22.36 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.37 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$I_a = 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} \quad E_n = I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)}$$

$$= 1,01 \cdot (22.36)^{0,983} \quad = (21.42)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 0,0011 \cdot 153)}$$

$$= 21.42 \text{ kA} \quad = 11.27 \text{ J/cm}^2$$

$$E = C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610}{D} \right)^x$$

$$= 1 \cdot 11.27 \cdot \left(\frac{0.37}{0,2} \right) \left(\frac{610}{914,4} \right)^{0,973}$$

$$= 14.06 \text{ cal/cm}^2$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$D_B = \left[4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 11.27 \cdot \left(\frac{0.37}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$= 11521.4. \text{ mm}$$

$$= 11.521 \text{ m}$$

❖ **Bus 94**

$$I_{bf} = 68.39 \text{ kA}$$

Mencari besar *arcing current*

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0.0966 V + 0,000526 G$$

$$+ 0.5588V (\lg I_{bf}) - 0,00304G(\lg I_{bf})$$

$$= (-0.097) + 0.662 \lg (68.39) + 0.0966 (0.433) + 0.000526 \\ (32) + 0.5588(0.433)(\lg.68.39) - 0.00304 (32) (\lg.68.39)$$

$$= 1.442 \text{ kA}$$

$$I_a = 27.67 \text{ kA}$$

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$E_n = I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)} \\ = (27.67)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 - 0.1130 + 0,0011 \cdot 32)} \\ = 8.433 \text{ J/cm}^2$$

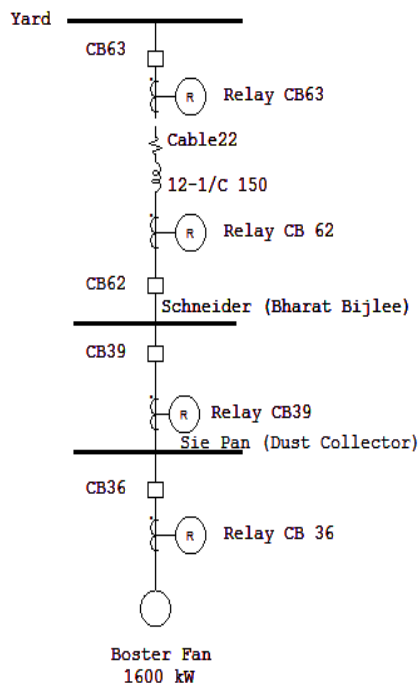
$$E = C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\ = 1,5 \cdot 8,433 \cdot \left(\frac{0.11}{0,2}\right) \left(\frac{610}{609.6}\right)^{1,473} \\ = 6.964 \text{ cal/cm}^2$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$D_B = \left[4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}} \\ = \left[4,184 \cdot 1,5 \cdot 8,433 \cdot \left(\frac{0.11}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{1,473}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{1,473}} \\ = 2017.15. \text{ mm} \\ = 2.017 \text{ m}$$

4.6 Analisa Tipikal 3

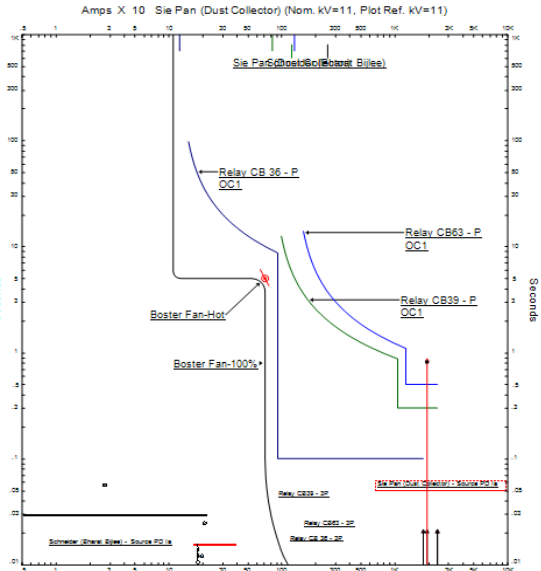
Pada tipikal 3 ini akan dilakukan analisa mengenai sistem proteksi dan *arc flash*. Tipikal 3 ini terletak pada beban motor *booster fan* sampai ke bus Yard. lebih jelasnya bisa ditunjukkan gambar 4.1 berikut ini.



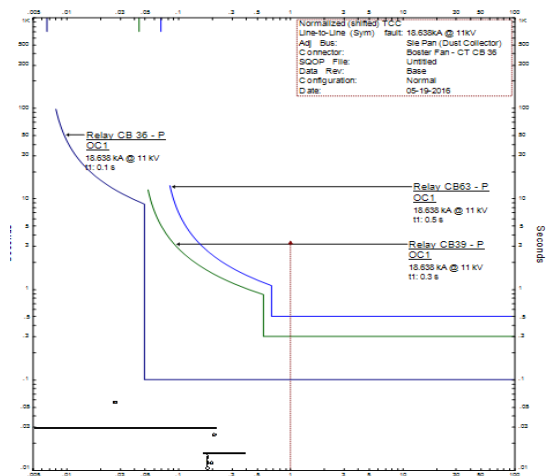
Gambar 4.7 kurva rele tipikal 3

4.6.1 Analisa Koordinasi Proteksi Pada Tipikal 3

Pada koordinasi tipikal 3 untuk sistem koordinasi proteksinya sudah benar dan bekerja dengan selisih waktu 0.2 detik. Untuk lebih jelasnya bisa lihat pada 4.8 di bawah ini.



Gambar 4.8 Kurva koordinasi arus waktu *existing* tipikal 3 mulai dari motor *booster fan* sampai bus *Yard*



Gambar 4.9 Kurva koordinasi arus waktu *existing* tipikal 3 saat terjadi gangguan pada motor

Dari gambar 4.9 diatas bisa kita lihat saat terjadi gangguan semua rele mendeteksi gangguan tersebut pada kondisi instan (50), sehingga rele tersebut bekerja berurutan dengan selisih waktu 0.2 detik. Dari kondisi ini maka saya hanya akan melakukan reseting dengan mengurangi nilai instan (50) pada rele tersebut.

❖ **Rele CB 36**

Manufacterer	= Schneider Electric
Device Type	= Merlin Gerlin SEPAM 1000
Curve Type	= SIT
CT Ratio	= 500/5
FLA motor <i>booster fan</i>	= 109.8 A
Istarting motor	= 5 x 109.8 = 549 A
I LRC motor	= 650% x 109.8 = 713.7 A

Overcurrent Pickup (I >)

$$\frac{1.05 \times \text{FLA motor}}{\text{CT ratio}} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{1.4 \times \text{FLA motor booster fan}}{\text{CT ratio}} \text{ A}$$

$$\frac{1.05 \times 109.8}{500/5} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{1.4 \times 109.8}{500/5} \text{ A}$$

$$1.15 \text{ A} \leq \text{Iset} \leq 1.54 \text{ A}$$

Dengan memperhatikan plot kurva pada ETAP star.

Dipilih Tap current setting = 1.25 A

Setting aktual Iset = 1.25 x 500/5 = 125 A

Time Setting IDMT (Time Dial)

Td (waktu yang diinginkan untuk starting motor = 5 sekon

D = time dial

Iset = 125 A

Maka di masuk-kan dalam perhitungan rumus time dial rele *invers* berdasarkan British Standard (BS 142) sesuai type rele.

$$td = \frac{0.14 \times D}{\left\{ \left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\} \times 2.97}$$

$$D = \frac{td \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{I_{lock rotor}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = \frac{5 \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{713.7}{125} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = 3.7$$

Maka time dial dipilih = 4

Instantaneous Pickup

$$\frac{\text{I starting motor}}{\text{CT primary}} \text{ A} \leq I_{\gg} \leq \frac{\text{I lock rotor}}{\text{CT primary}} \text{ A}$$

$$\frac{549}{500/5} \text{ A} \leq I_{\gg} \leq \frac{713.7}{500/5} \text{ A}$$

$$5.49 \text{ A} \leq I_{\gg} \leq 7.14 \text{ A}$$

Dipilih tap = 6 A

$$\text{Nilai aktual } I_{\gg} = 6 \times 500/5 = 600 \text{ A}$$

Time Delay

Time delay dipilih 0.1 s

❖ Rele CB 39

Manufacturer	= Schneider Electric
Device Type	= Merlin Gerlin SEPAM 80
Curve Type	= SIT
CT Ratio	= 1000/5
Isc max 4 cycle Bus Sie Pan	= 23.17 kA
Isc min 30 cycle bus Sie Pan	= 12.93 kA
FLA	= 109.8 + 75.47 + 75.47 = 260.74 A

Overcurrent Pickup (I >)

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{\text{CT ratio}} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times \text{Isc Min bus sie pan}}{\text{CT ratio}} \text{ A}$$

$$\frac{1.05 \times 260.74}{1000/5} \text{ A} \leq \text{Iset} \leq \frac{0.8 \times 12.93 \text{ kA}}{1000/5} \text{ A}$$

$$1.37 \text{ A} \leq \text{Iset} \leq 51.72 \text{ A}$$

Dengan memperhatikan plot kurva pada ETAP star.

Dipilih Tap current setting = 4.15 A

$$\text{Setting aktual Iset} = 4.15 \times 1000/5 = 830 \text{ A}$$

Time Setting IDMT (Time Dial)

Td (waktu yang diinginkan = 0.3 sekon

D = time dial

Iset = 830 A

Maka di masuk-kan dalam perhitungan rumus time dial rele *invers* berdasarkan British Standard (BS 142) sesuai type rele.

$$td = \frac{0.14 \times D}{\left\{ \left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\} \times 2.97}$$
$$D = \frac{td \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{I_{sc \max 4 bus \text{ sie pan}}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = \frac{0.3 \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{23170}{830} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

D = 0.44

Maka time dial = 0.44

Instantaneous Pickup

$$\frac{4fla \text{ terbesar} + \text{total FLA lain}}{CT_{primary}} \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ Min bus sie pan}}}{CT_{primary}} \text{ A}$$
$$\frac{4 \times 109.8 + (2 \times 75.47)}{1000/5} \leq I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 12930}{1000/5}$$
$$2.95 \text{ A} \leq I_{\gg} \leq 51.72 \text{ A}$$

Dipilih tap = 7 A

Nilai aktual $I_{\gg} = 7 \times 1000/5 = 1400 \text{ A}$

Time Delay

Time delay dipilih 0.3 s

❖ Rele CB 63

Manufacturer

= Schneider Electric

Device Type

= Merlin Gerlin SEPAM 80

$$\begin{aligned}
\text{Curve Type} &= \text{SIT} \\
\text{CT Ratio} &= 2500/5 \\
\text{Isc max 4 cycle Bus Schneider} &= 23.17 \text{ kA} \\
\text{Isc min 30 cycle bus Schneider} &= 12.93 \text{ kA} \\
\text{FLA} &= 260.74 + \text{TR25} + \text{TR13} + \text{TR 28} + \text{TR29} + \text{TR11} + \\
&\quad \text{TR30} + \text{TR26} \\
&= 260.74 + (4 \times 157.46) + (3 \times 104.97) \\
&= 1204.75 \text{ A}
\end{aligned}$$

Overcurrent Pickup (I >)

$$\begin{aligned}
\frac{1.05 \times \text{FLA}}{\text{CT ratio}} \text{ A} \leq \text{Iset} &\leq \frac{0.8 \times \text{Isc Min bus schneider}}{\text{CT ratio}} \text{ A} \\
\frac{1.05 \times 1204.75}{2500/5} \text{ A} \leq \text{Iset} &\leq \frac{0.8 \times 12.93 \text{ kA}}{2500/5} \text{ A} \\
2.53 \text{ A} \leq \text{Iset} &\leq 20.69 \text{ A}
\end{aligned}$$

Dengan memperhatikan plot kurva pada ETAP star.

Dipilih Tap current setting = 2.6 A

Setting aktual Iset = 2.6 x 2500/5 = 1300 A

Time Setting IDMT (Time Dial)

Td (waktu yang diinginkan) = 0.5 sekon

D = time dial

Iset = 1300 A

Maka di masuk-kan dalam perhitungan rumus time dial rele *invers* berdasarkan British Standard (BS 142) sesuai type rele.

$$\begin{aligned}
td &= \frac{0.14 \times D}{\left\{ \left(\frac{If}{Iset} \right)^{0.02} - 1 \right\} \times 2.97} \\
D &= \frac{td \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{\text{Isc max 4 bus sichneider}}{Iset} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}
\end{aligned}$$

$$D = \frac{0.5 \times 2.97 \times \left\{ \left(\frac{23170}{1300} \right)^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$D = 0.63$$

Maka time dial = 0.63

Instantaneous Pickup

$$I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ Min bus schneider}}{CT \text{ primary}} \text{ A}$$

$$I_{\gg} \leq \frac{0.8 \times 12930}{2500/5}$$

$$I_{\gg} \leq 20.69$$

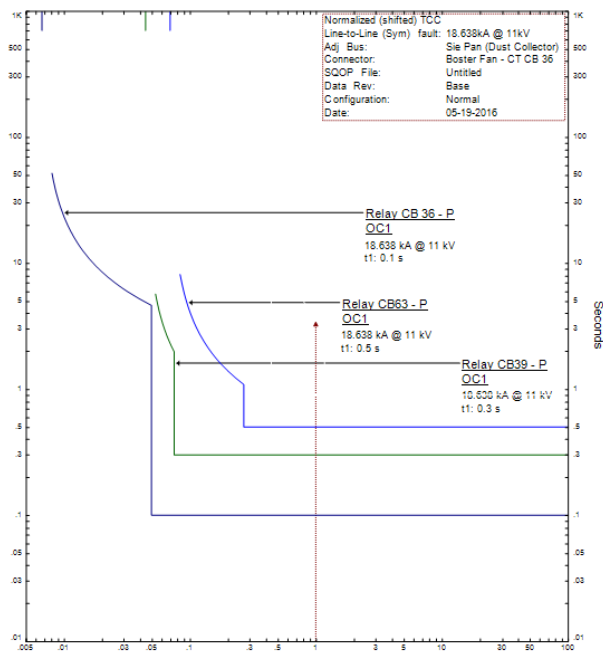
Dipilih tap = 10 A

Nilai aktual $I_{\gg} = 10 \times 2500/5 = 5000 \text{ A}$

Time Delay

Time delay dipilih 0.5 s

Dari hasil perhitungan resetting rele tersebut bisa didapat hasil kurva resetting sebagai berikut:



Gambar 4.10 Kurva koordinasi arus waktu *resetting* tipikal 3 saat terjadi gangguan pada motor

Dari gambar 4.10 bisa kita lihat bahwa untuk waktu trip dari masing-masing rele tidak berubah meskipun telah dilakukan reseting. Hanya nilai *time dial* dan nilai instan (50) rele saja yang berubah.

4.6.2 Analisa Arc Flash Pada Tipikal 3

Dengan dilakukannya simulasi menggunakan software ETAP maka didapatkan nilai *incident energy arc flash* dan *category incident* yang terjadi yang akan disesuaikan dengan Personal Protective Equipment (PPE) sesuai dengan standart NFPA 70E-2009.

Tabel 4.8 Hasil simulasi *incident energy arc flash* software ETAP pada sistem eksisting tipikal 3.

ID	Ia (kA)	Incident Energy (cal/cm ²)	Hazard Risk Category	Flash Protection Boundary(m)
schneider	24.16	5.339	2	4.24
Sie Pan (Dust Collector)	24.16	5.339	2	4.24

Dari data table 4.6 diatas kita dapatkan nilai *arc flash* yang kecil dan sesuai dengan standart, tetapi nilai tersebut didapat dari kesalahan sistem koordinasi proteksi. Sumber *arc flash* ini berasal dari CB GCB 2 yang bekerja terlebih dahulu pada saat ada gangguan. Setelah dilakukan *resetting* maka sistem proteksi kembali normal dan nilai *arc flash* akan lebih besar dari nilai eksisting. Tabel 4.7 akan menunjukkan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 3.

Tabel 4.9 Hasil simulasi *incident energy arc flash* software ETAP pada sistem reseting tipikal 3.

ID	Ia (kA)	Incident Energy (cal/cm ²)	Hazard Risk Category	Flash Protection Boundary(m)
schneider	24.12	22.042	3	18.205
Sie Pan (Dust Collector)	24.12	13.398	3	10.914

Setelah melakukan simulasi dengan software ETAP maka dilakukan perhitungan manual sesuai dengan standart IEEE 1584-2002 guna mencocokkan hasil simulasi dengan perhitungan secara manual. Pada sub

bab ini dilakukan perhitungan manual terhadap sistem *resetting* setelah dilakukan koordinasi pengamannya pada masing-masing tipikal ID Bus.

❖ **Bus Schneider**

$$I_{bf} = 25.25 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.51 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned} I_a &= 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} & E_n &= I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)} \\ &= 1,01 \cdot (25.25)^{0,983} & &= (24.14)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 0,0011 \cdot 153)} \\ &= 26.14 \text{ kA} & &= 12.82 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= Cf \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\ &= 1 \cdot 12.82 \cdot \left(\frac{0.51}{0,2}\right) \left(\frac{610}{914,4}\right)^{0,973} \\ &= 22.056 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned} D_B &= \left[4,184 \cdot Cf \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}} \\ &= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 12.82 \cdot \left(\frac{0.51}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0,973}} \\ &= 18291.8 \text{ mm} \\ &= 18.292 \text{ m} \end{aligned}$$

❖ **Bus Sie Pan**

$$I_{bf} = 25.25 \text{ kA}$$

$$FCT = 0.31 \text{ s}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned} I_a &= 1,01 \cdot I_{bf}^{0,983} & E_n &= I_a^{1,081} \cdot 10^{(K1 + K2 + 0,0011 \cdot G)} \\ &= 1,01 \cdot (25.25)^{0,983} & &= (24.14)^{1,081} \cdot 10^{(-0,555 + 0 + 0,0011 \cdot 153)} \\ &= 24.14 \text{ kA} & &= 12.82 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610}{D} \right)^x \\
 &= 1 \cdot 12.82 \cdot \left(\frac{0.31}{0,2} \right) \left(\frac{610}{914,4} \right)^{0,973} \\
 &= 13.407 \text{ cal/cm}^2
 \end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned}
 DB &= \left[4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
 &= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 12.82 \cdot \left(\frac{0.31}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}} \\
 &= 11118.5 \text{ mm} \\
 &= 11.119 \text{ m}
 \end{aligned}$$


4.7 Hasil Perbandingan Nilai *Arc Flash*

Seperti halnya pernyataan dari bab sebelumnya bahwa salah satu tujuan dari tugas akhir ini adalah menganalisa perbandingan hasil simulasi ETAP dan perhitungan nilai insiden energi busur api.





- **Tipikal 1**

Pada tabel 4.8 menunjukkan tabel perbandingan *incident energy arc flash* antara sistem eksisting dan resetting pada tipikal 1.

Tabel 4.10 Perbandingan *incident energy arc flash* tipikal 1

ID Bus	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
Main Bus	463.17	>4	-	14.76	3	 Hazard Risk Category 1

Tabel 4.10 Lanjutan









ID Bus	Incident Energy Arc Flash					
	Existing	Level	PPE	Resetting	Level	PPE
97	33.75	4	 Hazard Risk Category 4	33.75	4	 Hazard Risk Category 4
ABB Panel	149.59	>4	-	23.86	3	 Hazard Risk Category 3
Near Furnace	98.27	>4	-	23.86	3	 Hazard Risk Category 3

Dilihat dari tabel 4.8 diatas bisa kita lihat bahwa nilai *incident energy arc flash* mengalami penurunan setelah dilakukan resetting dan pemasangan difrential. Hal ini disebabkan karena waktu pmutusan CB semakin cepat.


- **Tipikal 2**

Pada tabel 4.9 menunjukkan tabel perbandingan *incident energy arc flash* antara sistem eksisting dan resetting pada tipikal 2.

Tabel 4.11 Perbandingan *incident energy arc flash* tipikal 2

ID Bus	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
Yard	5.826	2	 Hazard Risk Category 2	3.772	1	 Hazard Risk Category 1
MG Panel I (Unindo Bus)	5.643	2	 Hazard Risk Category 2	35.17	4	 Hazard Risk Category 4
Kirloskar Panel (MR- 1)	5.110	2	 Hazard Risk Category 2	23.57	3	 Hazard Risk Category 3
Line A Bawah (Line A-2)	10.924	3	 Hazard Risk Category 3	14.15	3	 Hazard Risk Category 3

Tabel 4.11 Lanjutan





ID Bus	Incident Energy Arc Flash					
	Existing	Level	PPE	Resetting	Level	PPE
Bus 94	68.95	>4	-	6.97	2	 Hazard Risk Category 2

Dilihat dari tabel 4.9 diatas bisa kita lihat bahwa nilai *incident energy arc flash* ada yang mengalami penurunan dan peningkatan. Hal ini disebabkan karena pada tipikal 2 ini terjadi kesalahan koordinasi proteksi. Dimana CB GCB 2 trip terlebih dulu ketika ada gangguan di bagian beban sisi primer trafo 14, sehingga menyebabkan *FCT (Fault Clearing Time)* lebih cepat dan nilai *arc flash* pada kondisi eksisting lebih kecil. Setelah dilakukan reseting dan pemasangan cb pada beban tegangan rendah nilai *arc flash* berubah sesuai yang terdapat pada tabel 4.9 dan meskipun ada yang meningkat dari kondisi eksisting tetapi nilai nya masih sesuai dengan standart NFPA 70E-2009.

- **Tipikal 3**

Pada tabel 4.10 menunjukkan tabel perbandingan *incident energy arc flash* antara sistem eksisting dan reseting pada tipikal 3.

Tabel 4.12 Perbandingan *incident energy arc flash* tipikal 3

ID Bus	<i>Incident Energy Arc Flash</i>					
	<i>Existing</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>	<i>Resetting</i>	<i>Level</i>	<i>PPE</i>
Schneider	5.339	2	 Hazard Risk Category 2	22.042	3	 Hazard Risk Category 3
Sie Pan (Dust Collector)	5.339	2	 Hazard Risk Category 2	13.398	3	 Hazard Risk Category 3

Dilihat dari tabel 4.10 diatas bisa kita lihat bahwa nilai *incident energy arc flash* mengalami peningkatan setelah resetting. Hal ini disebabkan karena pada tipikal 3 ini terjadi kesalahan koordinasi proteksi. Seperti yang dialami pada tipikal 2, dimana CB GCB 2 trip terlebih dulu ketika ada gangguan di bagian beban motor *booster fan*, sehingga menyebabkan *FCT (Fault Clearing Time)* lebih cepat dan nilai *arc flash* pada kondisi eksisting lebih kecil. Setelah dilakukan resetting nilai *arc flash* berubah sesuai yang terdapat pada tabel 4.10 dan meskipun meningkat dari kondisi eksisting tetapi nilai nya masih sesuai dengan standart NFPA 70E-2009.

Pada sub bab sebelumnya terdapat perhitungan manual dengan menggunakan standar IEEE 1584-2002. Maka perhitungan tersebut juga akan dibandingkan dengan simulasi ETAP pada bagian sistem resetting. Pada tabel 4.11 sampai 4.13 menunjukkan perbandingannya secara persentase.

Tabel 4.13 Perbandingan *incident energy arc flash* kondisi reseting antara simulasi ETAP dengan perhitungan manual pada tipikal 1.

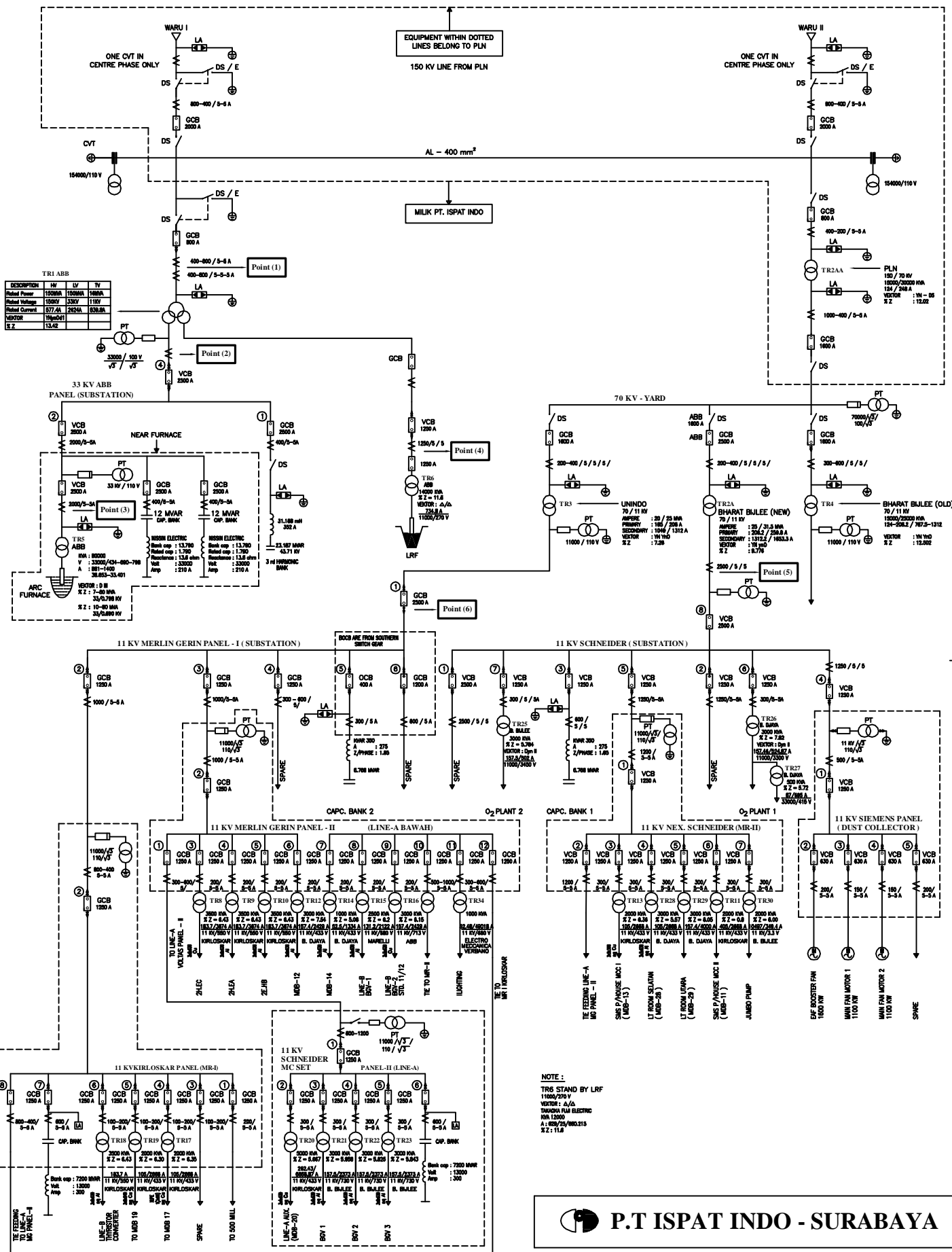
ID Bus	Simulasi ETAP	Perhitungan	Persentase error (%)
Main Bus	14.76	14.74	0.14
97	33.75	33.702	0.14
ABB Panel	23.86	23.83	0.13
Near Furnace	23.86	23.83	0.13

Tabel 4.14 Perbandingan *incident energy arc flash* kondisi reseting antara simulasi ETAP dengan perhitungan manual pada tipikal 2.

ID Bus	Simulasi ETAP	Perhitungan	Persentase (%)
Yard	3.772	3.771	0.026
MG Panel I (Unindo Bus)	35.17	35.18	0.028
Kirloskar Panel (MR-1)	23.57	23.58	0.042
Line A Bawah (Line A-2)	14.15	14.06	0.64
Bus 94	6.97	6.96	0.14

Tabel 4.15 Perbandingan *incident energy arc flash* kondisi reseting antara simulasi ETAP dengan perhitungan manual pada tipikal 3.


ID Bus	Simulasi ETAP	Perhitungan	Persentase (%)
schneider	22.042	22.056	0.06
Sie Pan (Dust Collector)	13.398	13.407	0.07

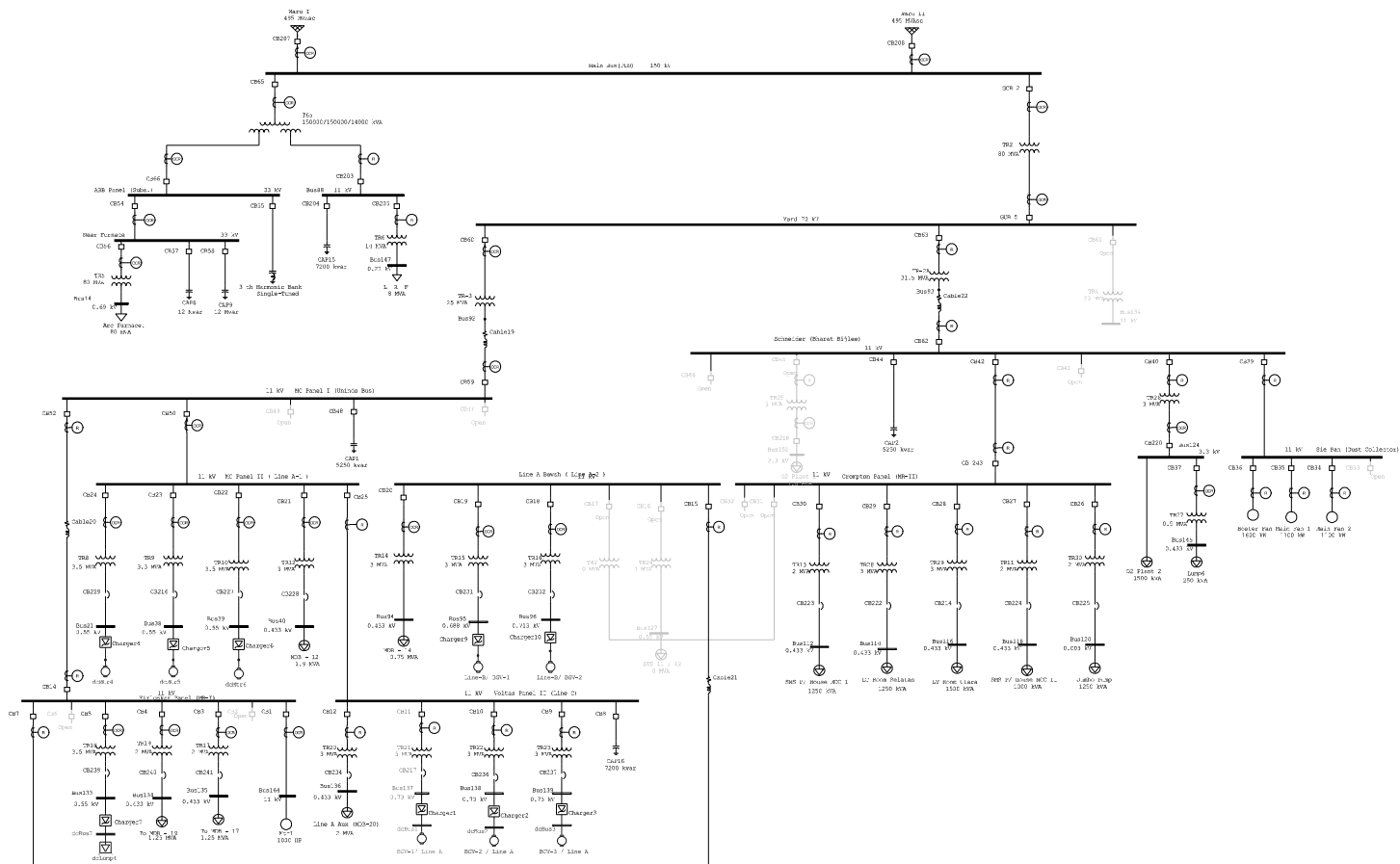


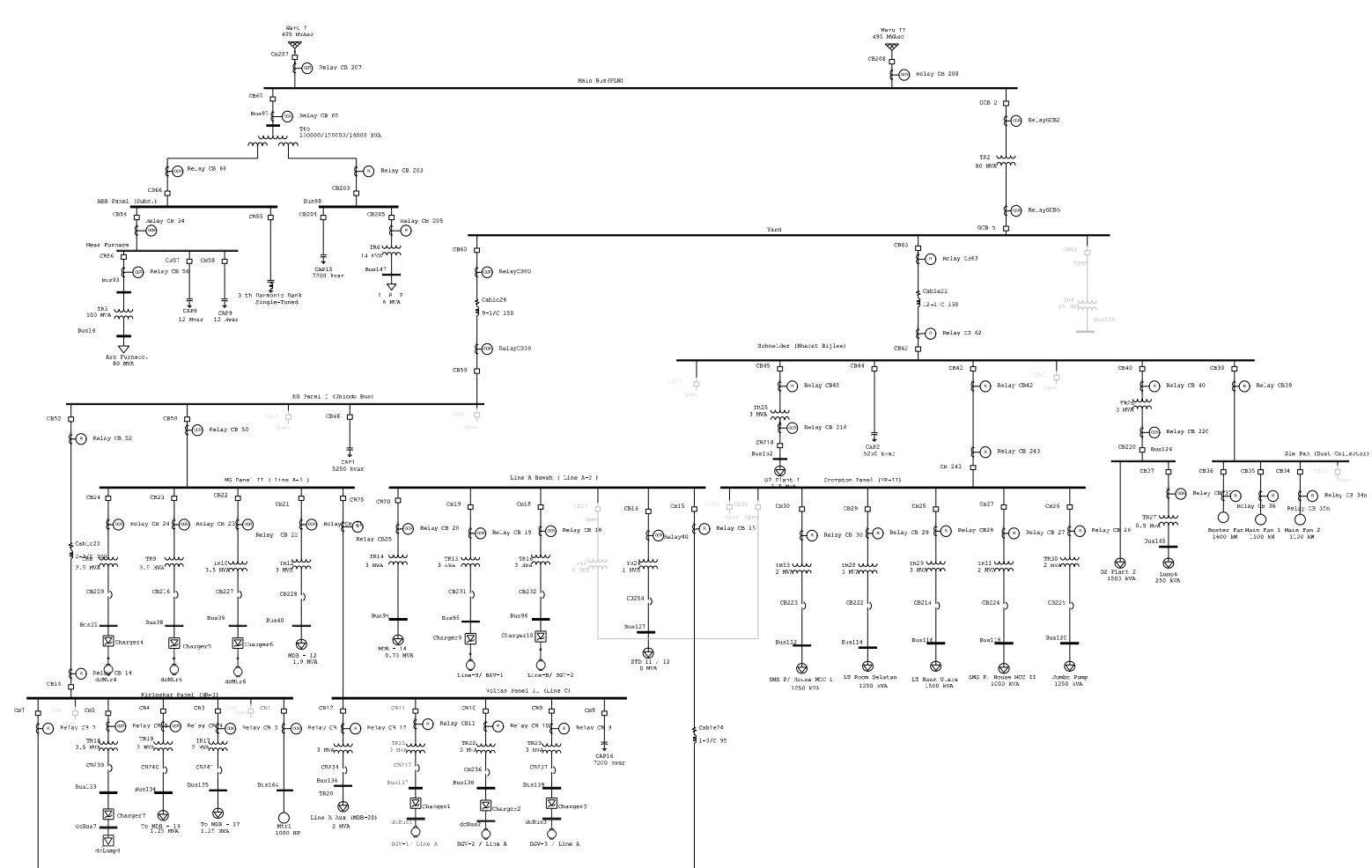
NOTE:
TR6 STAND BY LRF
11000/210 V
VECTOR: A/A
TAKEAWAY RUI ELECTRIC
KVA 12000
A: 625/25/100/315
S.Z: 11.8



P.T ISPAT INDO - SURABAYA

Name of Drawing	SINGLE LINE DIAGRAM FOR 150 kV/70 kV/33 kV/11 kV			
Scale	NTS	Date	19/08/10	Projection
Drawn	RUDI D.	Date	19/08/10	 II/ESM/384 SHEET 1 OF 1
Checked	BARIN B.	Date	19/08/10	
Approved	SATISH C.	Date	19/08/10	
				Rev. No. 05





BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada PT. ISPAT INDO, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil simulasi ETAP diketahui koordinasi proteksi sistem eksisting PT.ISPAT INDO masih membutuhkan perbaikan.
2. Waktu rele memberikan sinyal trip kepada circuit breaker (CB) mempengaruhi besar nilai insiden arc flash yang akan ditimbulkan dikarenakan dalam perhitungan nilai insiden busur api terdapat variabel waktu yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini

$$E = C_f \times E_n \times (t/0,2)^{(610/D)^x}$$

Semakin besar waktu maka akan seakin besar pula nilai insiden energi busur api yang akan ditimbulkan.

3. Karena ada kesalahan *setting* pada rele GCB 2, maka nilai energi *arc flash* pada sistem eksisting lebih kecil jika dibandingkan dengan sistem resetting, hal ini dapat dilihat tabel 4.6 dan 4.7 untuk tipikal 2 dan tabel 4.8 dan tabel 4.9 pada tipikal 3
4. Dengan mengetahui klasifikasi kategori *arc flash* pada setiap bus, kita bisa menggunakan APD yang sesuai pada saat melakukan pekerjaan di area tersebut.
5. Dengan bantuan pemasangan rele *differential* mampu mengurangi nilai insiden energi yang melebihi batas standart.

5.2. Saran

Beberapa saran yang dapat menjadi masukan untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan *setting* rele pengaman yang didapat dan hasil dari plot kurva koordinasi arus waktu *resetting* dapat dijadikan pertimbangan dan referensi dalam melakukan setting rele pengaman pada PT.Ispat Indo.
2. Melakukan pemasangan rele *differential* untuk bus-bus yang masih mempunyai nilai insiden energi melebihi batas standar internasional yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

1. *“Impact of Arc Flash Hazards on Medium Voltage Switchgear”*
K. R. Shah, Life Senior Member, A. Cinsavich, P. De Silva,
Member Shah & Associates, Inc. 416 North Frederick Avenue,
Gaithersburg, MD 20877 0197-2618/07/\$25.00 © 2007 IEEE.
2. Workplace Safety Awareness Council, “Arc Flash Handout”,
Occupational Safety and Health Administration, U.S.
Department of Labor.
3. National Fire Agency (NFPA) 70E-2004, Standart for Electrical
Safety in Workplace.
4. Balasubramanian, Ilanchezhian. *“Impact of Available Fault
Current Variation on Arc-Flash Calculation”*, IEEE
Transactions on Industry Applications, vol 40, No 5,
September/October 2010.
5. Tinsley H.W., Hodeker., Graham A.M., *“Arc Flash Hazard
Calculations – Myths, Facts, and Solutions,”* IEEE Industry
Applications Magazine, pp. 58, January/February 2007.
6. IEEE Std. 1584-2002., *“IEEE Guide for Performing Arc-Flash
Hazard Calculation”*, by the Institute of Electrical and
Electronics Engineers, Inc., 2002.
7. Chet Davis, P.E., Conrad St. Pierre, Dave Castor, P.E., Robert
Luo, Ph.D., Satish Shrestha, *“Practical Solution Guide to Arc
Flash Hazard”*.
8. Pfeiffer, John C., *“Arc Flash Article”*, Pfeifferengineering Co.,
Inc., 2008.
9. NFPA 70E., *“Electrical Safety Requirements for Employee
Workplaces 2009 Edition”*, NFPA 70E-2009.
10. Burn Injury facts, *“Arc Flash / Blast Hazard Prevention”*.
Report #86 1-2006, April 2006,
11. Antony C.Parsons, W. Blane Leuschner, and Kevin
X.Jiang., *“Simplified Arc Flash Hazard Analysis Using Energy
Boundary Curves.”* IEEE Transections on Industry
Applications Vol.44 no.6, November/December 2008.
12. Soeprijanto, Adi *”Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, Diktat
Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2”*, Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh
Nopember Surabaya.

13. Lazar irwin *"Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant"*, McGraw-Hill Inc. , USA, Ch, 1, 1980.
14. IEEE Std 1584™-2002, *"IEEE Guide for Peiforming Arc-Flash Hazard Calculations"*

BIODATA PENULIS



Joko Suparyo dilahirkan di Madiun, 25 Desember 1988. Menempuh pendidikan di SDN kebonagung 3 pada tahun (1994-2000), SLTPN 1 Mejayan tahun (2000-2003), dan SMAN 1 Mejayan tahun (2003-2006). Setelah lulus sekolah, penulis melanjutkan kuliah ke Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS-ITS) Program Studi D3 Elektro Industri tahun (2006-2009). Pada tahun kelulusan 2009 penulis langsung bekerja di PT. Coca-Cola Botling

Indonesia di Gempol, Pasuruan Provinsi Jawa Timur sebuah perusahaan PMA bergerak di bidang *Food & Beverage*. Pada tahun 2012, penulis melanjutkan studi di program Lintas Jalur Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Jurusan Teknik Elektro bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Jika ada keperluan bisa menghubungi di email j.suparyo@gmail.com